

## Monitoring and Evaluation of Water Consumption in the Gohar-Zamin Iron Ore Complex (Sirjan) using Shewhart Control Charts

Khoshdast H\*<sup>1</sup>, Zeidabadi Nejhada M.N<sup>2</sup>

1. Department of Mining Engineering, Higher Education Complex of Zarand, Zarand, Iran

2. Division for Planning Management and Process Control, Gohar-Zamin Iron Ore Complex, Sirjan, Iran

\* *Corresponding author.* Tel: +983431422030, Fax: +983431422040, E-mail: khoshdast\_hamid@yahoo.com

Received: Dec 1, 2019

Accepted: Apr 15, 2020

### ABSTRACT

**Background & objectives:** One of the biggest concerns about the increasing development of the mining industries, especially in the dry and tropical regions, is their high water consumption and, consequently, the serious threat to the local water resources as well as the impacts of these industries' pollution on the environment and other downstream water resources. Therefore, it is necessary to make appropriate decisions and take appropriate measure to manage water consumption in the mining industry. However, the presentation of any operational plan to control water use in such industries depends on the planned and scientific monitoring of water consumption over specific periods.

**Methods:** In this study, water consumption monitoring in the Gohar-Zamin Iron Ore Complex (Sirjan, Iran) was investigated for the first time using Shewhart statistical monitoring method. For this purpose, water consumption data of the plant's dual processing lines were collected and organized during one year of operation to develop the control charts.

**Results:** The results show that in different months of the year, water consumption can be independent of the weather conditions or the factory production. Moreover, the cumulative diagrams show that the trend of water consumption in the two lines is almost opposite to each other and each month with increasing water consumption of one line, water consumption of the other line has decreased.

**Conclusion:** To alleviate these problems, expediting the construction of tank No.2 was proposed as the best operational solution for independent water consumption of each processing line.

**Keywords:** Water Consumption; Sirjan; Process Monitoring; Control Chart; Shewhart Method; Iron Ore

## پایش و ارزیابی مصرف آب در مجتمع سنگ آهن گهر زمین (سیرجان) با استفاده از نمودارهای کنترلی Shewhart

حمید خوشدست<sup>۱\*</sup>، محمد نعیم زیدآبادی<sup>۲</sup>

۱. عضو هیئت علمی بخش مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی زرنند، زرنند

۲. مدیر واحد مدیریت برنامه‌ریزی و کنترل تولید، شرکت سنگ آهن گهر زمین، سیرجان

\* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۳۴۳۱۴۲۲۰۳۰ فکس: ۰۳۴۳۱۴۲۲۰۴۰ ایمیل: khoshdast\_hamid@yahoo.com

### چکیده

**زمینه و هدف:** یکی از بزرگترین نگرانی‌ها درباره توسعه روز افزون صنایع معدنی، به ویژه در مناطق خشک و گرمسیر، مصرف آب زیاد آنها و در نتیجه، تهدید جدی منابع آبی منطقه در کنار اثرات آلاینده‌گی این صنایع بر محیط‌زیست و سایر منابع آبی پایین دستی است. لذا، اتخاذ تصمیمات و اعمال تمهیدات مناسب جهت مدیریت مصرف آب در صنایع معدنی، امری ضروری است. اما، ارائه هر گونه برنامه اجرایی و عملیاتی جهت کنترل مصرف آب در این صنایع در گروی پایش برنامه‌ریزی شده و علمی مصرف آب طی دوره‌های زمانی مشخص است.

**روش کار:** در این پژوهش، پایش مصرف آب در مجتمع سنگ آهن گهر زمین (سیرجان) با استفاده از روش پایش آماری Shewhart برای اولین بار مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مصرف آب خطوط دو گانه فرآوری کارخانه طی یک سال عملیاتی برای توسعه نمودارهای کنترلی جمع آوری و سازمان‌دهی شدند.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که در ماه‌های مختلف سال، مصرف آب می‌تواند مستقل از شرایط جوی و یا میزان تولید کارخانه باشد. همچنین، نمودارهای میانگین نشان دادند که روند مصرف آب در دو خط تقریباً برعکس یکدیگر بوده و در هر ماه، با افزایش مصرف آب یک خط، مصرف آب خط دیگر کاهش یافته است.

**نتیجه‌گیری:** برای مرتفع نمودن مشکلات، تسریع در ساخت مخزن شماره ۲ برای مستقل نمودن مصرف آب هر خط فرآوری به عنوان بهترین راهکار عملیاتی پیشنهاد شد.

**واژه‌های کلیدی:** مصرف آب، سیرجان، پایش فرایند، نمودار کنترلی، روش Shewhart، سنگ آهن

دریافت: ۹۸/۹/۱۰ پذیرش: ۹۹/۱/۲۷

### مقدمه

به طور کلی، فرایندهای فرآوری مواد معدنی در دو حالت خشک و یا تر انجام می‌شوند. امروزه، اغلب طراحان، فرایندهای تر را به دلایل زیر بر فرایندهای خشک ارجحیت می‌دهند (۲،۱):

- در اغلب موارد کارایی را بهبود می‌بخشد. این بهبود، بیش از هر چیز ناشی از شرایط مناسب انتقال مواد

میان واحدهای مختلف و همچنین، ارتقای دینامیک

عملیاتی تجهیزات فرآوری است.

- ابعاد و فضای مورد نیاز کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، به جای استفاده از سیکلون‌های هوایی با ابعاد بسیار بزرگ به همراه سیستم‌های مکش غبار، می‌توان از یک خوشه هیدروسیکون کوچک بهره برد.

- تولید گرد و غبار به حداقل می‌رسد که به نوبه خود، با کاهش تجهیزات غبارگیری، هزینه تمام شده فرایند و محصول نیز کاهش خواهد یافت.

اما نکته مهم در چنین فرایندهایی آن است که برای دستیابی به این مزایا، استفاده از منابع آب تازه، مانند چاه‌های آب شیرین، اجتناب‌ناپذیر است. این در حالی است که در بسیاری از فرایندهای فرآوری مواد معدنی، به ویژه فرآوری مواد معدنی فلزی مانند سنگ آهن که برای پرعیارسازی از روش‌های تر بهره می‌برند، بخش قابل توجهی از آب مصرفی همراه با جریان باطله به سد باطله و یا دفن گاه‌های مربوطه ارسال می‌شود. اگرچه بخشی از این آب مجدداً پس از بازیافت به چرخه تولید باز می‌گردد، اما بی‌نیازی از منابع آب تازه در عمل غیرممکن خواهد بود. لذا، مدیریت صحیح مصرف آب برای دستیابی به تولیدی پایدار و مبتنی بر اصول حفظ محیط‌زیست الزامی می‌باشد (۳، ۴).

تاکنون راهکارهای مختلفی برای بهبود مصرف آب در صنایع معدنی ارائه شده است که از مهمترین آنها می‌توان به استفاده از سرندهای آگیری بعد از تیکنرهای باطله (۵)، جایگزینی تیکنرهای معمولی با تیکنرهای مخروط عمیق (۶)، جایگزینی سیستم‌های متداول فیلتراسیون (۷) و تیکنرها با تجهیزات دکانتاسیون (۸) و استفاده از سیکون‌های آگیری میانی (۹، ۱۰) اشاره نمود. اما، پیش از انتخاب روش مناسب برای کاهش مصرف آب و یا ارائه برنامه بهینه‌سازی مصرف آب در هر واحد فرآوری، شناخت رفتار فرایند از دیدگاه مصرف آب شرطی اساسی است. لذا، اولین گام به منظور کنترل فرایند مصرف آب، بررسی شرایط کنونی فرایند و همچنین، کسب اطلاع از تاریخچه تغییرات فرایند طی یک دوره زمانی در قالب یک برنامه پایش منظم به همراه ثبت دقیق و مستندسازی علمی و تخصصی داده‌های جمع‌آوری شده است. پایش عملیات به معنای مستندسازی سیستماتیک و پیوسته پارامترهای کلیدی (عملیاتی و

پاسخ) هر فرایند به منظور ارزیابی عملکرد فرایند و تعیین فاصله آن تا شرایط استاندارد و انتظارات طرح یا مشتری است؛ و در انتها، کنترل فرایند عبارت است از اعمال تغییرات فعال در فرایند بر اساس نتایج به دست آمده طی پایش عملیات. تا کنون، روش‌های متعددی برای پایش فرایندهای صنعتی ارائه شده است که از میان روش‌های مختلف، روش‌های آماری به دلیل مبنای علمی قابل اعتماد، بیش از سایر روش‌های عددی و تجربی مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای کنترل آماری فرایندها نیز روش‌های مختلفی ارائه شده است که از میان آنها روش نمودارهای کنترلی بیش از بقیه مورد استقبال صنایع قرار گرفته است. اگر چه پایش آماری فرایندها با استفاده از نمودارهای کنترلی در صنایعی همچون خودروسازی و الکترونیک به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما این روش کاربردی توسط پژوهشگران اندکی به صورت تخصصی و عملیاتی در صنایع معدنی، به ویژه فرآوری مواد معدنی مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال برخی محققین، نمودارهای کنترلی به عنوان راهکاری پیشگیرانه به منظور کاهش توقفات واحدهای فرآوری مواد معدنی غیرفلزی پیشنهاد شده است؛ چنانچه استفاده از نمودارهای تابع احتمال در کنار نمودارهای کنترلی برای بررسی تأثیر توقفات بسیار مفید معرفی شده است (۱۳-۱۱). در پژوهشی دیگر، نمودارهای کنترلی برای پایش خاکستر و رطوبت کنسانتره کارخانه‌های زغالشویی طی دوره‌های چندین ماهه مورد استفاده قرار گرفته است. این مطالعات نشان داده است که بررسی خودمبستگی داده‌های پیوسته همواره با نمودارهای کنترلی سازگار نیستند (۱۴). این رویکرد آماری توسط برخی محققین دیگر نیز برای پایش کارخانه‌های زغالشویی مورد استفاده قرار گرفته و نتایج نشان داده است که دقت آنالیز نمونه‌ها (در این پژوهش خاکسترسنجی) بر دقت نمودارهای کنترلی و در نتیجه تحلیل آنها بسیار مؤثر است (۱۵). استفاده از

نمودارهای کنترلی برای پایش کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی فلزی نیز به طور موفقیت‌آمیز مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج این پژوهش‌ها نیز نشان داده است که نمودارهای کنترلی ابزار قابل اعتمادی برای پایش و مقایسه کیفیت محصول کارخانه‌ها بوده است (۱۶-۱۸). این پژوهش، کاربرد بسیار مفید این روش کنترل فرایند در صنایع معدنی را با ارائه نتایج موفق آن جهت پایش مصرف آب در شرکت سنگ آهن گهر زمین (سیرجان) ارائه می‌دهد.

### روش کار

#### نحوه گردآوری داده‌های پایش

با توجه به اینکه شرط اساسی برای پایش معتبر و قابل استناد هر پارامتر عملیاتی، در اختیار داشتن اطلاعات صحیح است، لذا ابتدا دیتاشیت‌های داده‌های خام مصرف آب مربوط به سال ۱۳۹۷ برای هر دو خط فرآوری از واحد انرژی کارخانه دریافت و پس از اعتبارسنجی، داده‌های مورد نیاز استخراج و طبق فرمت‌های مناسب جهت رسم نمودارهای کنترلی و تجزیه و تحلیل، در نرم‌افزار صفحه‌گستر Excel وارد شد. لازم به ذکر است که با توجه به حجم زیاد داده‌ها، در این مقاله تنها به خلاصه‌ای از فرایند پایش مصرف آب در خطوط دو گانه فرآوری شرکت اشاره شده است.

#### توسعه نمودارهای کنترلی

از میان انواع مختلف نمودارهای کنترلی، انواع Shewhart به دلیل سهولت رسم و تفسیر، بیش از بقیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نمودارها معمولاً برای بررسی تغییرات بزرگ در فرایند مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۹). همچنین، این نمودارها پایش فرایند را تنها بر اساس مشاهدات در همان زمان مشاهده انجام می‌دهند و به همین دلیل قادر به تشخیص انحراف‌ها و تغییرات کوچک نیستند. انواع این نمودارها عبارتند از: ۱: نمودارهای کنترلی برای داده‌های متوالی یا پیوسته، و ۲: نمودارهای کنترلی

برای داده‌های گسسته یا ناپیوسته (۲۰، ۲۱). نمودارهای داده‌های انفرادی- دامنه متحرک (I-MR) یکی از متداول‌ترین نمودارهای کنترلی برای داده‌های پیوسته است. این نمودار زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در هر زمان از هر محل تنها یک داده جمع‌آوری می‌شود. نمودار I-MR در واقع شامل دو نمودار است که با یکدیگر برای پایش مقدار متوسط و تغییرات فرایند به کار می‌روند: ۱- نمودار I برای بررسی انحراف و روند تغییرات داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. رسم این نمودار باید حتماً بر اساس زمان مرتب شده به ترتیب رخداد باشد؛ در غیر این صورت، تغییرات مشاهده شده ممکن است به اشتباه تفسیر شده و انحراف‌های غیرمتعارف به تغییرات تصادفی و معمول نسبت داده شوند (۲۲)؛ و ۲- نمودار MR نشان‌دهنده تغییرات کوتاه مدت در فرایند یا به عبارتی پایداری فرایند است. دامنه متحرک در حقیقت اختلاف میان مشاهدات پشت سر هم است زیرا انتظار می‌رود که این اختلاف‌ها در شرایط پایداری فرایند، قابل پیش‌بینی باشند (۲۳). در این نمودار، نقاط خارج از حدود کنترلی نشان‌دهنده ناپایداری فرایند هستند. اجزای نمودار عبارت است از (۲۴):

• برای نمودار MR:	• برای نمودار I:
$CL_R = \bar{R}$ (۴)	$CL_I = \bar{X}$ (۱)
$UCL_R = D_4 \bar{R}$ (۵)	$UCL_I = \bar{X} + E_2 \bar{R}$ (۲)
$LCL_R = D_3 \bar{R}$ (۶)	$LCL_I = \bar{X} - E_2 \bar{R}$ (۳)

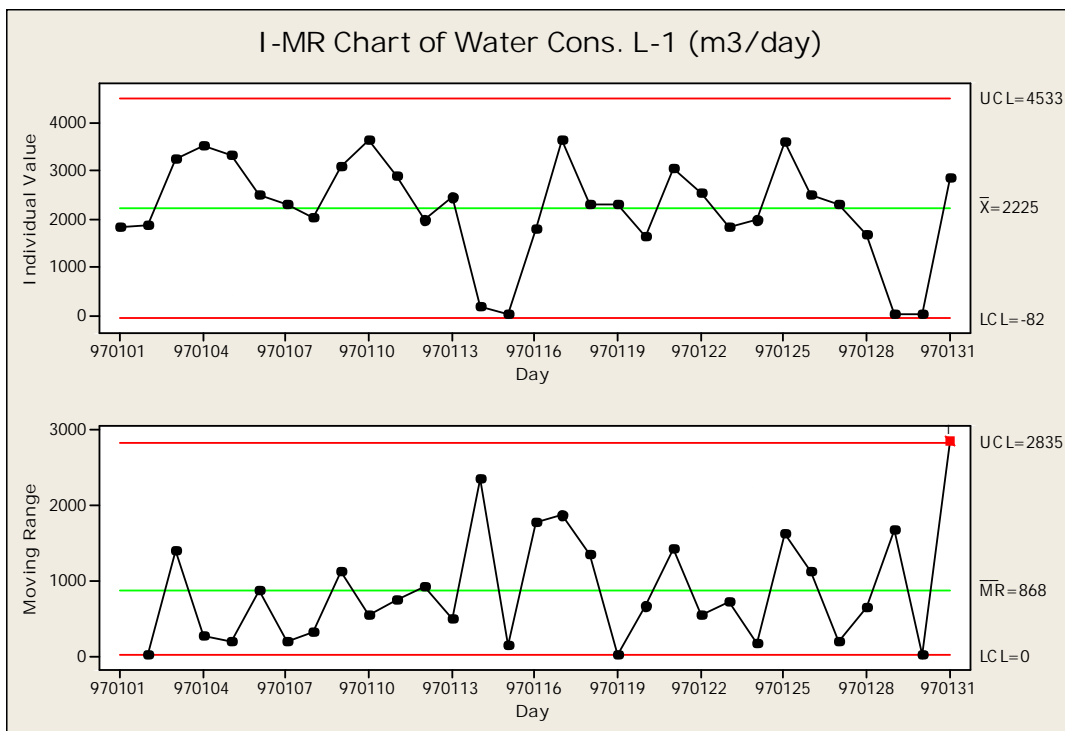
که  $\bar{X}$  میانگین داده‌ها و  $\bar{R}$  میانگین دامنه داده‌ها است. مقادیر ضرایب  $E_2$ ،  $D_3$  و  $D_4$  نیز با استفاده از جدول استاندارد تعیین می‌شوند. در این پژوهش، به‌منظور رسم نمودارهای مورد نظر، از نرم‌افزار Minitab-17 استفاده شد.

## یافته‌ها

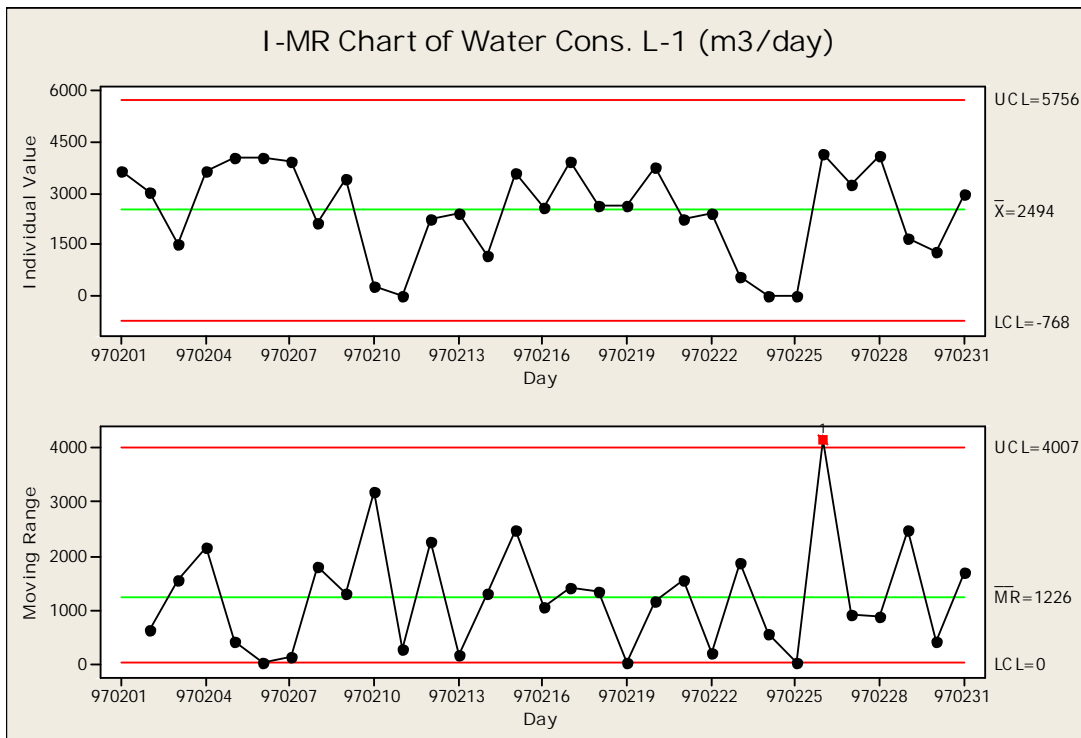
## بررسی ماهیانه مصرف آب

در شکل ۱، نمودارهای کنترلی مصرف روزانه آب خط ۱ در در ماه‌های مختلف نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، نوسانات مصرف آب در فروردین ماه بسیار چشمگیر است. بیشترین میزان مصرف آب در این ماه،  $3660 \text{ m}^3$  و کل مصرف آب نیز  $68990 \text{ m}^3$  بوده است. نوسانات مصرف آب در اردیبهشت محدودتر از فروردین بوده اما با مجموع  $77323 \text{ m}^3$  و بیشینه مصرف  $4144 \text{ m}^3$ ، شرایط نامطلوب‌تری نسبت به ماه گذشته داشته است. مصرف آب در خرداد ماه در اواسط ماه و پس از چند روز توقف خط به بیشترین مقدار رسیده است که نشان‌دهنده تلاش برای جبران تولید بوده است. مجموع و بیشینه مصرف آب در این ماه به ترتیب برابر  $78800 \text{ m}^3$  و  $5070 \text{ m}^3$  می‌باشد. با توجه به تغییرات مصرف آب در تیر ماه، می‌توان به این نکته مثبت اشاره نمود که علیرغم افزایش دما، مصرف آب تا  $67983 \text{ m}^3$  کاهش یافته است. بیشینه مصرف نیز در این ماه  $4242 \text{ m}^3$  گزارش شده است. در مرداد ماه نیز همانند تیر، مصرف آب به میزان چشمگیری کاهش یافته است. اما این کاهش را بدون شک می‌توان به توقفات قابل توجه در این ماه نسبت داد. نوسانات مصرف آب در این ماه نیز قابل توجه است. متوسط و بیشینه مصرف آب در این ماه به ترتیب  $57580 \text{ m}^3$  و  $3474 \text{ m}^3$  بوده است. با توجه به شکل، مصرف آب نوسانات محدودتری را در شهریور ماه تجربه کرده است اما با مجموع مصرف  $82045 \text{ m}^3$ ، ماه بسیار پرمصرفی بوده است؛ بدون شک، یکی از دلایل این مورد را می‌توان افزایش دمای هوا ذکر کرد. بیشینه مصرف آب در این ماه نیز  $4080 \text{ m}^3$  بوده است. مصرف آب در مهرماه به مراتب از نوسانات کمتری نسبت به ماه‌های گذشته برخوردار بوده است. مصرف آب نیز در این ماه به میزان قابل توجهی کاهش یافته و به مقدار  $77963 \text{ m}^3$  رسیده

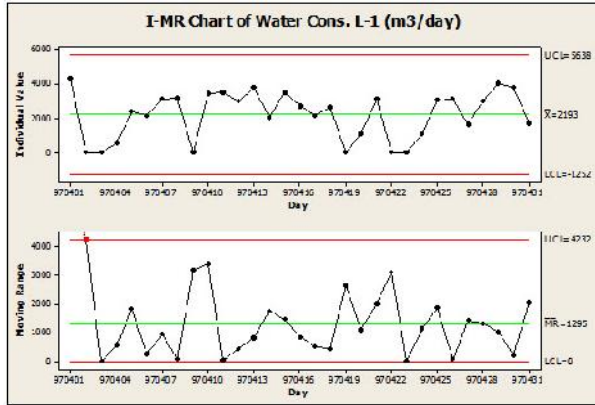
است. بیشینه مصرف آب در این ماه،  $3328 \text{ m}^3$  بوده است. نوسانات مصرف آب در آبان ماه نیز کمی محدود می‌باشد. همچنین، مصرف آب در این ماه کمی کاهش نشان داده و به مقدار  $77896 \text{ m}^3$  رسیده است. البته، بیشینه مصرف در این ماه به مراتب بیشتر از مهر بوده است ( $4556 \text{ m}^3$ ). با توجه به توقف تولید در روز ۹ ماه و بیشینه مصرف در روز ۸ ماه، به نظر می‌رسد که این افزایش مصرف با هدف جبران کاهش تولید در روز توقف بوده است. علیرغم نوسانات با دامنه محدود، مصرف آب در آذر به میزان قابل توجهی افزایش یافته و به مقدار  $104765 \text{ m}^3$  رسیده است. همچنین، بیشینه مصرف نیز در این ماه مقدار قابل توجه  $5023 \text{ m}^3$  را تجربه کرده است. یکی از دلایل این افزایش را می‌توان به افزایش بارندگی‌ها در این ماه نسبت داد. با توجه به شکل، دی ماه نیز نوسانات متعددی را در مصرف آب تجربه کرده است. البته، مصرف آب در این ماه نسبت به آذر، به شدت کاهش یافته و به  $75512 \text{ m}^3$  رسیده است. بیشینه مصرف آب نیز در این ماه،  $4237 \text{ m}^3$  بوده است. با توجه به تغییرات مصرف آب در بهمن، مشاهده می‌شود که دامنه نوسانات در این ماه محدودتر از دی بوده است. همچنین، مصرف کل و بیشینه آب در این ماه به ترتیب به  $69950 \text{ m}^3$  و  $3656 \text{ m}^3$  کاهش یافته است. در اواخر دهه نخست اسفند ماه نیز افت و خیزهایی در مصرف آب مشاهده می‌شود ولی مصرف از پایداری نسبی برخوردار است. مصرف کل و بیشینه آب در این ماه به ترتیب به  $71205 \text{ m}^3$  و  $3891 \text{ m}^3$  افزایش یافته‌اند.



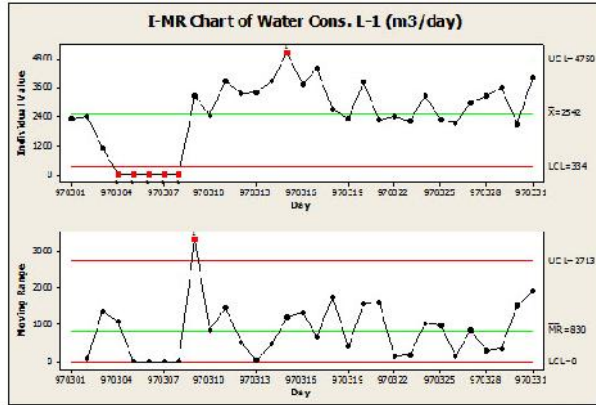
فروردین ماه



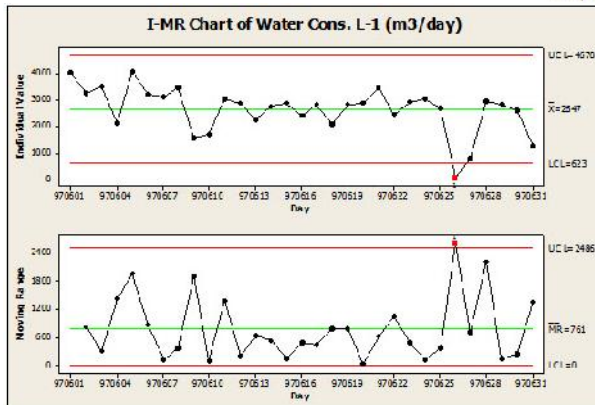
اردیبهشت ماه



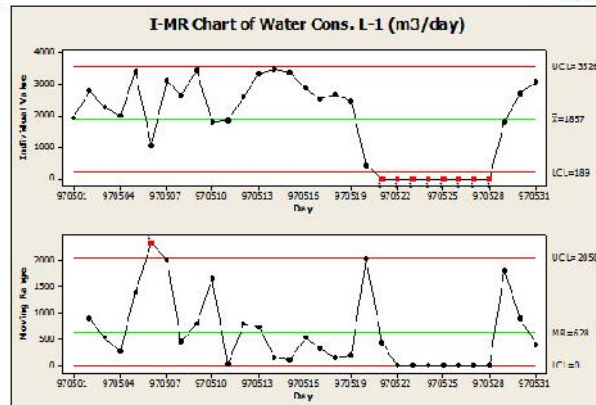
تیر ماه



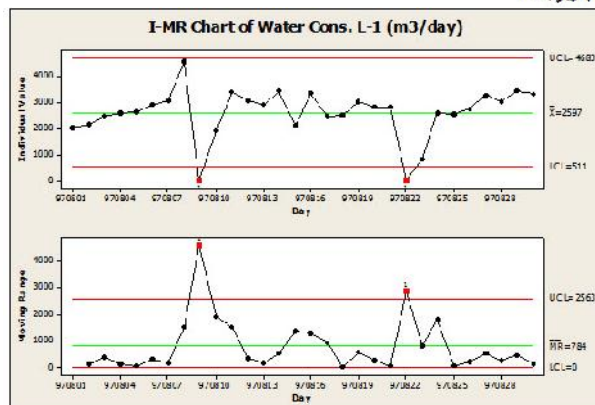
کرداد ماه



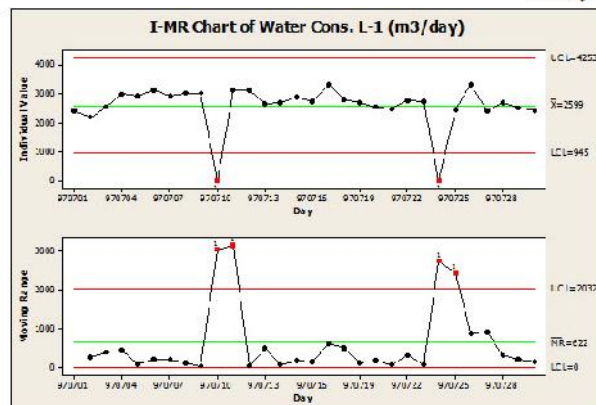
شهرپور ماه



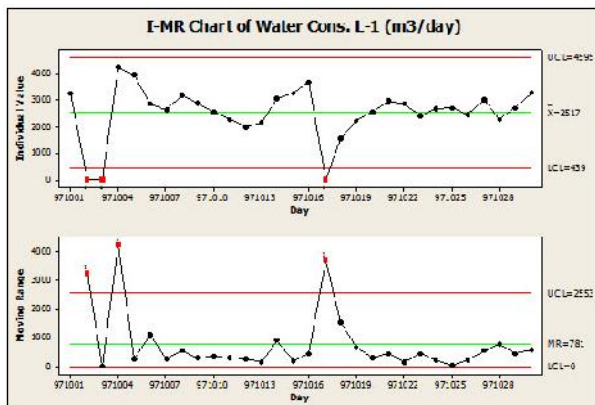
مرداد ماه



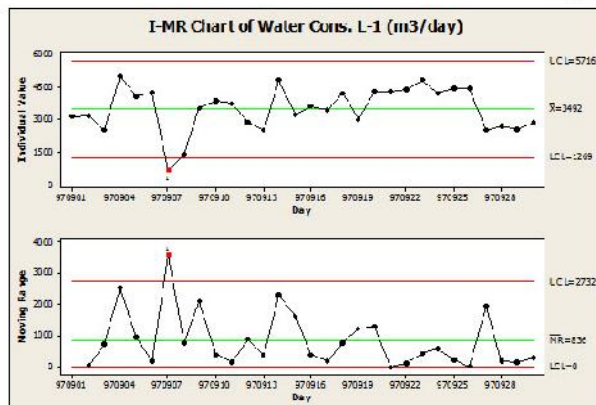
آبان ماه



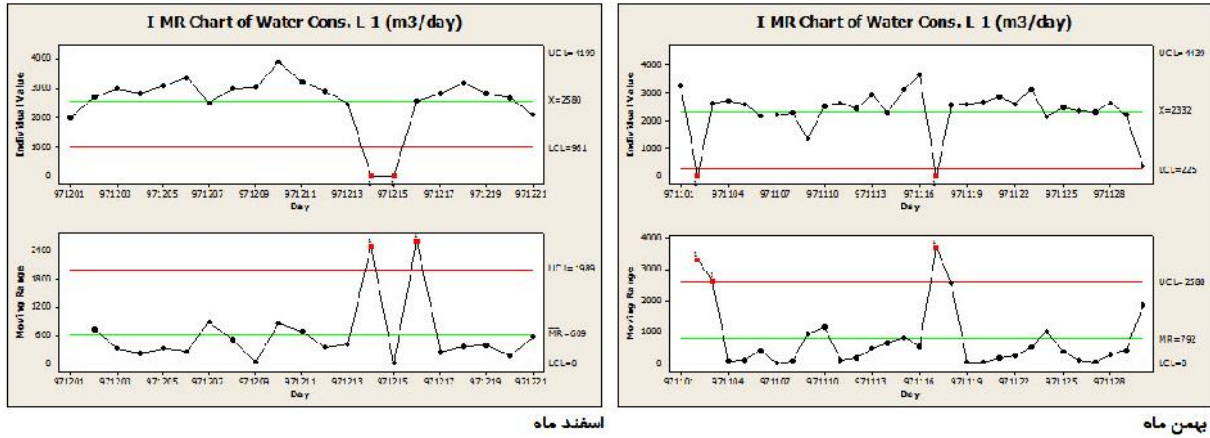
مهر ماه



دی ماه



آذر ماه



شکل ۱. نمودارهای کنترلی مصرف آب خط ۱ در سال ۱۳۹۷: نمودار کنترل فرایند (پایین) و نمودار کنترل نمونه (بالا)

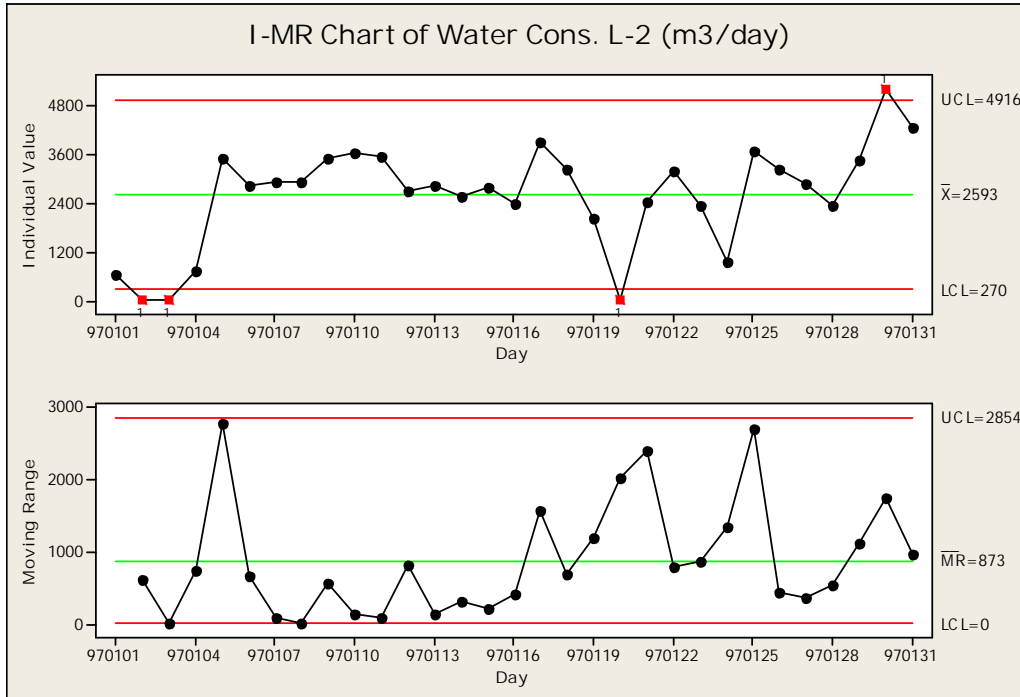
نوسانات محدودتری را در شهریور ماه تجربه کرده است و همچنین با مجموع مصرف  $79951 \text{ m}^3$ ، ماه کم مصرف تری بوده است. بیشینه مصرف آب در این ماه نیز  $4325 \text{ m}^3$  بوده است. مصرف آب در مهرماه به مراتب از نوسانات کمتری نسبت به ماههای گذشته برخوردار بوده است، اما مصرف آب تغییر قابل توجهی نداشته و با اندکی افزایش به مقدار  $80735 \text{ m}^3$  در این ماه، بیشینه مصرف آب در  $4663 \text{ m}^3$  بوده است. نوسانات مصرف آب در آبان به جزء اواسط ماه، نسبتاً محدود می باشد. همچنین، مصرف آب در این ماه کمی افزایش نشان داده و به مقدار  $82576 \text{ m}^3$  رسیده است. بیشینه مصرف در این ماه نیز بیشتر از مهر بوده است ( $4559 \text{ m}^3$ ) که در روز ۹ خودنمایی می کند. علیرغم نوسانات با دامنه محدود، مصرف آب در آذر به میزان قابل توجهی کاهش یافته و به مقدار  $51307 \text{ m}^3$  رسیده است. همچنین، بیشینه مصرف نیز در این ماه مقدار  $3955 \text{ m}^3$  را تجربه کرده است. بدون شک، دلیل اصلی این کاهش را می توان به افزایش قابل توجه توقفات در این ماه نسبت داد. با توجه به شکل، دی ماه نیز نوسانات متعددی را در مصرف آب تجربه کرده است. البته، مصرف آب در این ماه نسبت به آذر، به شدت افزایش یافته و به  $85649 \text{ m}^3$  رسیده است. بیشینه مصرف آب نیز در این ماه،  $4130 \text{ m}^3$  بوده است. با توجه به تغییرات

در شکل ۲، تغییرات مصرف روزانه آب خط ۲ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می شود، نوسانات مصرف آب به ویژه در نیمه دوم فروردین ماه بسیار چشمگیر است. بیشترین میزان مصرف آب در این ماه،  $5204 \text{ m}^3$  و کل مصرف آب نیز  $80384 \text{ m}^3$  بوده که نسبت به خط ۱ بسیار قابل توجه است. با توجه به تغییرات مصرف آب در اردیبهشت، نوسانات مصرف آب در این ماه محدودتر از فروردین بوده اما با مجموع  $80402 \text{ m}^3$  و بیشینه مصرف  $4126 \text{ m}^3$ ، شرایط نامطلوب ماه گذشته را دنبال کرده است. مصرف آب در خرداد ماه علیرغم نوسانات قابل توجه در نیمه نخست ماه و طی چند روز توقف خط، نسبت به ماههای گذشته کاهش قابل توجهی داشته است. بدون شک، این کاهش را می توان به افزایش توقفات در این ماه نسبت داد. مجموع و بیشینه مصرف آب در این ماه به ترتیب برابر  $70117 \text{ m}^3$  و  $3787 \text{ m}^3$  می باشد. تغییرات مصرف آب در تیر ماه نشان می دهد که علیرغم کاهش نوسانات در این ماه، مصرف آب مجدداً افزایش یافته و به مقدار  $87291 \text{ m}^3$  رسیده است. بیشینه مصرف نیز  $4268 \text{ m}^3$  ثبت شده است. در مرداد ماه نیز همانند تیر، مصرف آب بالا بوده است. نوسانات مصرف آب در این ماه قابل توجه است. متوسط و بیشینه مصرف آب در این ماه به ترتیب  $88625 \text{ m}^3$  و  $4079 \text{ m}^3$  بوده است. با توجه به شکل، به جزء دهه نخست ماه، مصرف آب

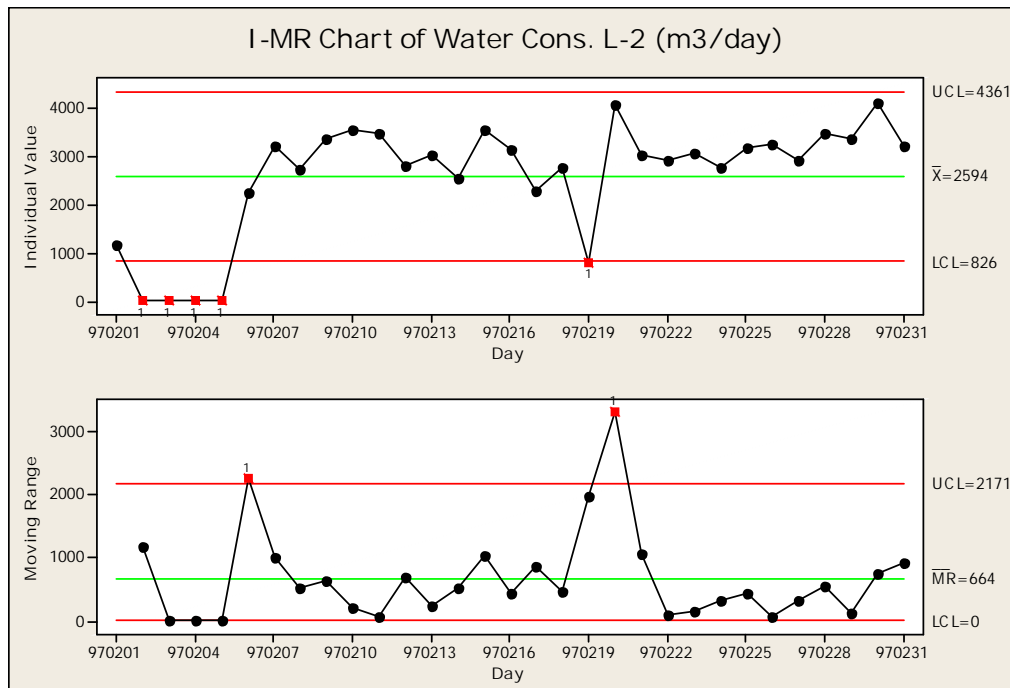


ولی مصرف آب نسبت به ماه گذشته کاهش چشمگیری نشان می‌دهد. مصرف کل و بیشینه آب در این ماه به ترتیب به  $۷۷۲۷۷ \text{ m}^3$  و  $۴۲۱۵ \text{ m}^3$  افزایش یافته‌اند.

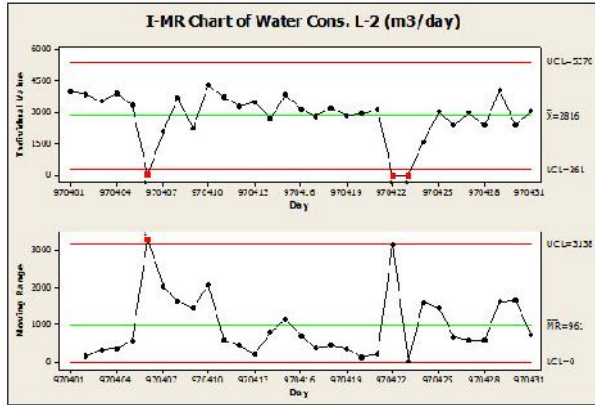
مصرف آب در بهمن، مشاهده می‌شود که دامنه نوسانات در بهمن ماه محدودتر از دی بوده است. همچنین، مصرف کل و بیشینه آب در این ماه به ترتیب به  $۸۳۰۰۳ \text{ m}^3$  و  $۴۳۴۹ \text{ m}^3$  کاهش یافته است. در اسفندماه، نوسانات مصرف آب قابل ملاحظه است



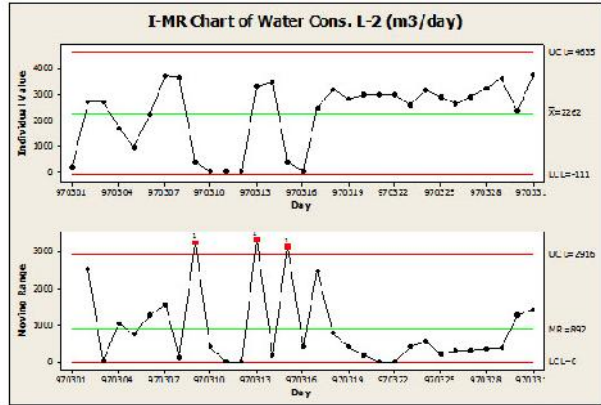
فروردین ماه



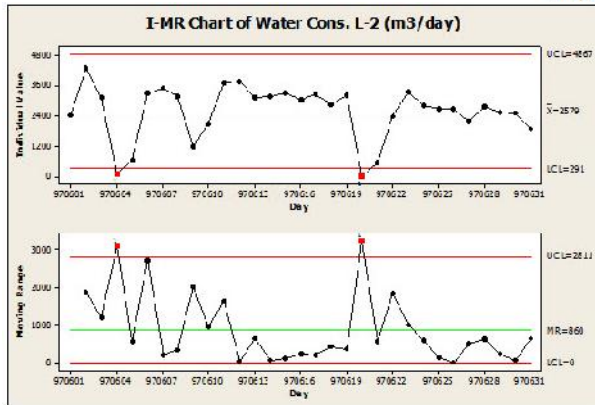
اردیبهشت ماه



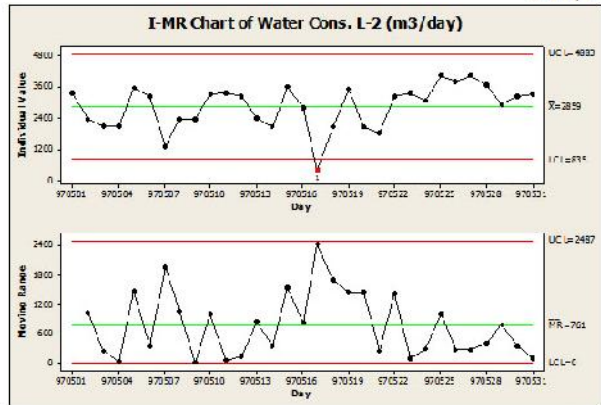
تیر ماه



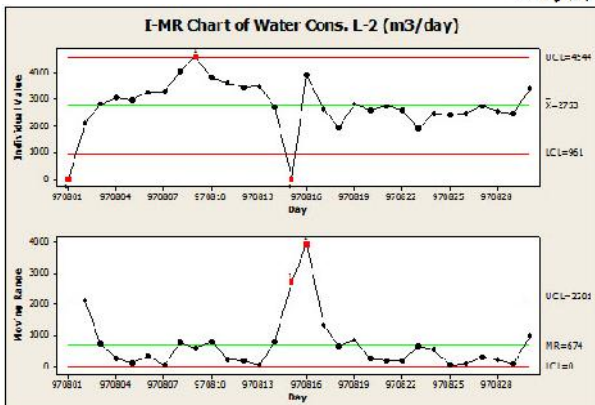
خرداد ماه



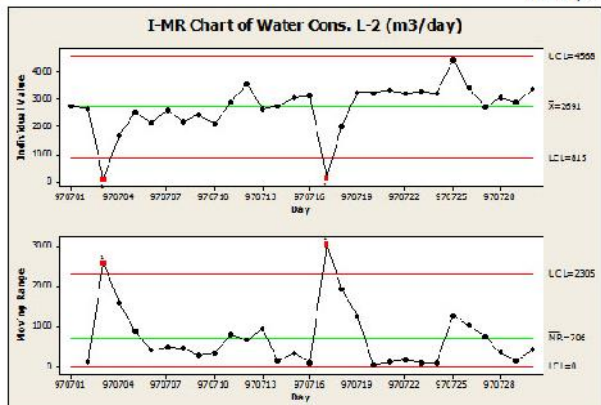
شهریور ماه



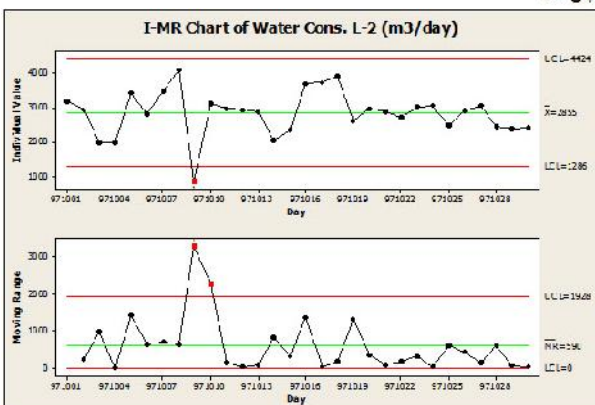
مرداد ماه



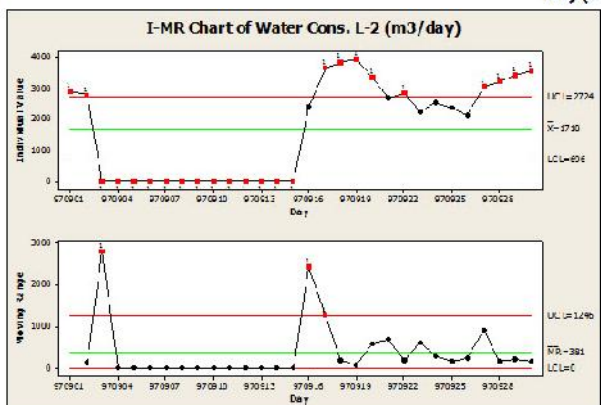
آبان ماه



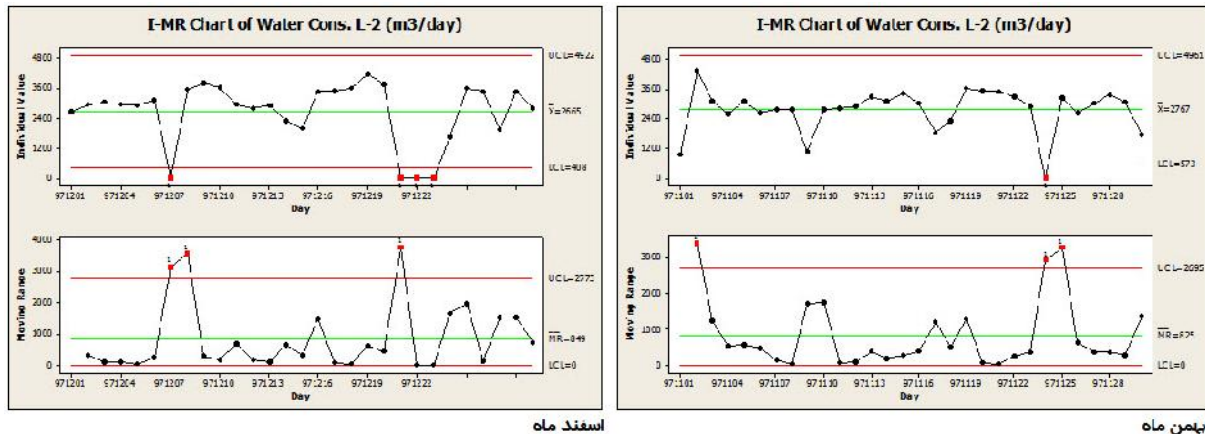
مهر ماه



دی ماه



آذر ماه

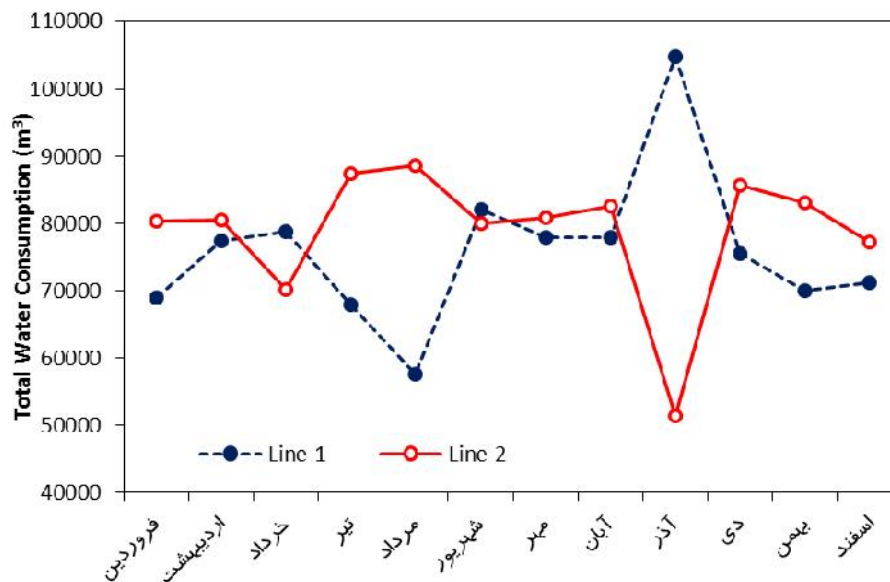


شکل ۲. نمودارهای کنترلی مصرف آب خط ۲ در سال ۱۳۹۷؛ نمودار کنترل فرایند (پایین) و نمودار کنترل نمونه (بالا)

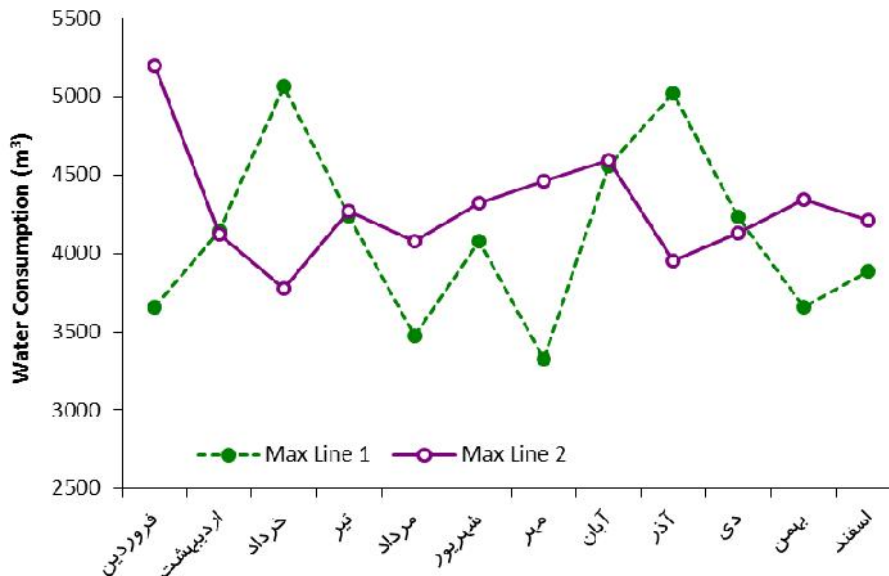
خط ۲ در اغلب موارد بیشتر از خط ۱ بوده است. در شکل ۴ نیز روند تغییرات بیشینه مصرف آب برای هر دو خط با یکدیگر مقایسه شده است. با توجه به شکل، مقادیر مصرف بیشینه نیز روندی تقریباً مشابه با مصرف کل نشان می‌دهد. دلیل اصلی این روندها را می‌توان به مشترک بودن مخزن تأمین آب برای هر دو خط نسبت داد.

### بررسی مصرف کل آب سال

مصرف آب در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۷ در شکل ۳ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، روند مصرف آب در دو خط تقریباً برعکس یکدیگر بوده و در هر ماه، با افزایش مصرف آب یک خط، مصرف آب خط دیگر کاهش یافته است. بیشترین اختلاف‌ها نیز مربوط به ماه‌های آذر و مرداد بوده است. همچنین، با توجه به نمودار می‌توان عنوان کرد که مصرف آب



شکل ۳. روند تغییرات ماهیانه مصرف کل آب خطوط دوگانه فرآوری



شکل ۴. روند تغییرات ماهیانه پیشینه مصرف آب خطوط دوگانه فرآوری

### نتیجه گیری

استفاده از نمودارهای کنترلی به عنوان روشی علمی جهت پایش مصرف آب، اطلاعات بسیار مفیدی از عملکرد فرایند در اختیار مهندسين قرار می دهد که با رجوع به دیتاشیت ها و یا رسم نمودارهای ساده متوسط / انحراف معیار قابل تشخیص نیست. استفاده کاربردی از این روش در برنامه پایش مصرف آب در شرکت سنگ آهن گهر زمین و دستیابی به تحلیل های بسیار کاربردی جهت تدوین برنامه توسعه و بهبود فرایند سال شرکت، مثال موفق و مستندی از ضرورت بهره مندی از این روش در سایر صنایع معدنی است. همچنین، این نمودارها را می توان به صورت شیفیتی و روزانه، ماهیانه، فصلی و سالانه مورد استفاده قرار داد. به طور کلی، پایش مصرف آب خطوط دو گانه فرآوری شرکت سنگ آهن گهر زمین در سال ۱۳۹۷ نشان داد که روند مصرف آب در دو خط تقریباً برعکس یکدیگر بوده و در هر ماه، با افزایش مصرف آب یک خط، مصرف آب خط دیگر کاهش یافته است.

دلیل این روند، مشترک بودن مخزن تأمین هر دو خط است. با توجه به اینکه مخزن شماره ۲ این کارخانه در حال ساخت است، تسریع در اتمام این پروژه مفید خواهد بود. همچنین، تعریف و عملیاتی کردن طرح های کاهش مصرف آب، مانند کاهش مصرف آب در جریان خروجی تیکنرهای باطله می تواند در مصرف بهینه آب در این شرکت بسیار مفید باشد.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مدیران و پرسنل واحدهای مختلف شرکت سنگ آهن گهر زمین (سیرجان) که در جمع آوری و تدوین پایگاه داده های مورد نیاز، واحد مدیریت برنامه ریزی و کنترل تولید را حمایت نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می شود. این پژوهش بر اساس مفاد قرارداد مشاوره شماره ۱۰۴۵/۱۰۰/۳ شرکت سنگ آهن گهر زمین سیرجان تدوین شده است.

### References

- 1- Nematollahi H. Mineral Processing, 3<sup>rd</sup> ed. Tehran: Tehran University Press, 2002: 800-12. [In Persian]
- 2- Khoshdast H. Introductory Mineral Processing, 6<sup>th</sup> ed. Zarand: HECZ, 2017: 112-22. [In Persian]

- 3- Dunne R. Water water everywhere and not a drop to drink, nor do I know its whereabouts. Proceedings of the 1st International Symposium of Water in Mineral Processing. 2012 Feb. 19-22, Washington, USA.
- 4- Castro S. Challenges in flotation of Cu-Mo sulfide ores in sea water, Proceedings of the 1st International Symposium of Water in Mineral Processing. 2012 Feb. 19-22, Washington, USA.
- 5- Khoshdast H. Comminution Engineering, 2<sup>nd</sup> ed. Zarand: HECZ, 2018: 301-19. [In Persian]
- 6- Davis RV, O'Leary K, Haynie T, Musale D. Mine wastewater treatment using novel processes. Proceedings of the 1st International Symposium of Water in Mineral Processing. 2012 Feb. 19-22, Washington, USA.
- 7- Hu Y, Sun W, Liu R, Dai J. Wastewater recycling technology in Fankou lead-zinc mine of China. Proceedings of the 1st International Symposium of Water in Mineral Processing. 2012 Feb. 19-22, Washington, USA.
- 8- Fatahi MM, Shojaei V, Khoshdast H, Moosavi SM. Feasibility study of replacing the concentrate thickener at the Shar-e Babak copper complex by centrifugal separators. Proceedings of the 7th International Material Engineering and Metallurgy Conference and Exhibition. 2018 Aug. 8-10, Tehran, Iran. [In Persian]
- 9- Sutherland KS, Chase G. Filters and Filtration Handbook. 5<sup>th</sup> ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2008: 478-97.
- 10- Garmsiri MR, Unesi M. Challenges and opportunities of hydrocyclone-thickener dewatering circuit: A pilot scale study. Miner Eng. 2018; 122: 206-10.
- 11- Yerel S, Ankara H, Konuk A, Özda H. Preventive maintenance policy supported by a quality control chart and Kolmogorov-Smirnov tests: Emet colemanite mineral processing plant, Turkey. Miner Metallur Process. 2007; 24: 152-56.
- 12- pek H, Ankara H, Özda H. The application of statistical process control. Miner Eng. 1999; 12(7): 827-35.
- 13- Bhattacharjee A, Samanta B. Practical issues in the construction of control charts in mining applications. J South Afr Ins Min Metallur. 2002; 102(3): 173-80.
- 14- Tasdemir A. Effect of autocorrelation on the process control charts in monitoring of a coal washing plant. Physicochem Probl Miner Process. 2012; 48(2): 495-512.
- 15- Fu X, Wang R, Dong Z. Application of a Shewhart control chart to monitor clean ash during coal preparation. Int J Miner Process. 2017; 158(10): 45-54.
- 16- Tasdemir A, Kowalczyk PB. Application of statistical process control for proper processing of the fore-sudetic monocline copper ore. Physicochem Probl Miner Process. 2014; 50(1): 249-64.
- 17- Bayat O, Arslan V. Statistical analysis in Turkish chromite mining. Scand J Metallur. 2004; 33: 322-27.
- 18- Vapur H., Applicability of statistical process control for flotation of metals complex. Asian J Chem. 2009; 21(1): 655-65.
- 19- Khoshdast H, Shojaei V. Applications of Control Charts in Mineral Processing Industries: A Practical Guide. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017: 82-93.
- 20- Levinson WA. Statistical Process Control for Real-World Applications. USA: CRC Press, 2010: 201-9.
- 21- Xie M, Ngee Goh T, Kuralmani V. Statistical Models and Control Charts for High-Quality Processes. Germany: Springer, 2002: 341-53.
- 22- Wheeler DJ. Advanced Topics in Statistical Process Control: The Power of Shewhart's Charts. 2<sup>nd</sup> ed. USA: SPC Press, 2004: 75-84.
- 23- Grant E, Leavenworth R. Statistical Quality Control. 7<sup>th</sup> ed. USA: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1996: 112-8.
- 24- McConnell J. Analysis and Control of Variation; An Introduction to Control Chart Theory and Practice. 4th Edition, Australia: Quantum House Limited, 1992: 278-99.