



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1<sup>st</sup> National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



## تصحیح شاخص زیرساختی ILI شبکه توزیع آب در شهر مهاجران به کمک آنالیزهای GIS

### بهمن آنالویی

معاون بهره‌برداری، شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی

[Info\\_bahre@abfamarkazi.ir](mailto:Info_bahre@abfamarkazi.ir)

### حمید اسماعیلیون

مدیر دفتر مطالعات مصرف و کاهش آب بدون درآمد، شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی

[h.ramsin@gmail.com](mailto:h.ramsin@gmail.com)

### مژده مینائی

کارشناس GIS، شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی

[Gis.abfa@yahoo.com](mailto:Gis.abfa@yahoo.com)

### خلاصه

از آنجایی که دسترسی به اطلاعات دقیق در فعالیت‌های هدررفت آب بسیار حائز اهمیت می‌باشد از این رو دفتر آب بدون درآمد به موازات اجرای پروژه GIS شهر مهاجران، اقدام به اصلاح شاخص ILI که یکی از شاخص‌های شناسایی زیرساخت شبکه آب شهری می‌باشد نمود. در نهایت با مقایسه روش تخمینی محاسبه ILI و روش محاسبه با کمک آنالیزهای GIS این نتیجه حاصل شد که بالاترین دقت محاسبات با استفاده از آنالیزهای GIS باعث بهبود عملکرد و در نتیجه پایین آمدن شاخص ILI گردیده است. حال با توجه به اجرای پروژه GIS در شهر مهاجران در دو بخش شبکه و مشترکین و داشتن کلیه پارسل‌های مشترکین به همراه توپوگرافی آنها، امکان دستیابی به ارتفاع متوسط هر مشترک در شهر ایجاد گردید. حال از آنجایی که فشار متوسط هر منطقه در فرمول محاسبه هدررفت اجتناب‌ناپذیر و شاخص ILI نقش اصلی را دارا می‌باشد، به همین منظور بکارگیری ابزارها و آنالیزهای GIS در این مقاله منجر به تصحیح این شاخص در شهر مهاجران گردید.

کلمات کلیدی: هدررفت، ILI، TIRL، UARL، مهاجران



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1<sup>st</sup> National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



## ۱. مقدمه

کشور ایران با متوسط بارش سالانه حدود ۲۴۰ تا ۲۵۰ میلیمتر در زمره مناطقی از جهان واقع شده که از موهبت نزولات جوی کم بهره است. قسمت عمده مساحت کشور را مناطق خشک و کم آب فرا گرفته و لذا از دیرباز آب نقش تعیین کننده ای در تمرکز جوامع و توسعه اقتصادی آن ایفا نموده است. نظر به اینکه در گذشته آب به قیمت ارزان و به آسانی در دسترس بوده، لذا دستگاه‌های مسئول توزیع آب شهری تا قبل از تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب نسبت به کاهش آب به حساب نیامده به عنوان راه حلی برای صرفه‌جویی در منابع آب، کاهش هزینه‌های بهره برداری و افزایش بازده یا در آمد، توجه کافی نداشته اند. در سال‌های اخیر کمبود شدید منابع و افزایش سریع هزینه‌های تولید آب باعث شده که موضوع آب به حساب نیامده مورد توجه قرار گیرد. بنابراین در کنار تامین آب از منابع جدید باید از هدر رفتن آب در مراحل مختلف انتقال، تصفیه، ذخیره و توزیع به عنوان یک فعالیت دراز مدت و با برنامه ریزی مدون جلوگیری نمود.

با توجه به اهمیت محاسبه حجم هدررفت واقعی اجتناب ناپذیر در تعیین شاخص زیرساختی هدررفت (ILI)<sup>۱</sup> و نقش موثر فشار متوسط در بدست آمدن آن، لازم است مقدار فشار متوسط با دقت و صحت بالاتری اندازه گیری و برآورد شود. ازین رو با استفاده از انجام آنالیزهایی در محیط GIS اقدام به تصحیح شاخص ILI گردید.

## ۲. تعاریف اولیه

### ۲,۱. ارتفاع متوسط انشعابات و نقطه میانگین ناحیه

ارتفاع متوسط انشعابات برای عملیات فشار سنجی (APH)<sup>۲</sup> بوسیله برآورد تراز ارتفاعی هر انشعاب تعیین و سپس مقدار نقطه میانگین ناحیه (AZP)<sup>۳</sup> از نزدیک ترین شیر آتش نشانی در دسترس یا نقاط دیگر نزدیک به تراز APH برداشت شده و برای تفاوت موجود بین مقادیر واقعی و محاسبه شده توپوگرافی تصحیح شود و به این ترتیب مقدار فشار متوسط شبکه برآورد می-شود.

### ۲,۲. شاخص زیرساختی هدررفت (ILI)

ضریب ILI در واقع ضریبی است که نشانگر نحوه مدیریت شبکه توزیع آب (نگهداری، تعمیرات و بازسازی) برای کنترل و کاهش هدررفت واقعی در فشار بهره برداری می‌باشد. این شاخص از جمله شاخص‌های عملکرد حجم هدررفت واقعی در شبکه توزیع آب شهری است که نسبت بین نرخ هدررفت سالانه کنونی به هدررفت واقعی اجتناب ناپذیر سالانه را به عنوان بهترین شاخص مقایسه ای بین سیستمی نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> Infrastructure Leakage Index

<sup>2</sup> Average Point Height

<sup>3</sup> Average Zone Point

شاخص ILI از طرف انجمن بین‌المللی آب (IWA)<sup>۱</sup> و هم از سوی (AWWA)<sup>۲</sup> توصیه شده است و در واقع معیاری است که نشان می‌دهد در فشار عملیاتی کنونی، مدیریت شبکه توزیع به چه میزان در کنترل تلفات فیزیکی موفق عمل کرده است. مقدار آن از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد که خود نیازمند محاسبه دو پارامتر دیگر است [۱]:

$$ILI = TIRL / UARL \quad (1)$$

که در آن TIRL<sup>۳</sup> شاخص فنی هدررفت واقعی و UARL<sup>۴</sup> میانگین هدررفت واقعی غیر قابل اجتناب است و از آنجا که این رابطه بصورت یک نسبت می‌باشد، هیچ واحدی ندارد.

### ۲.۲. شاخص فنی هدررفت واقعی (TIRL)

این شاخص در واقع نشان دهنده میزان هدررفت واقعی به ازای هر اشتراک می‌باشد. بطور معمول این پارامتر از هدررفت را بصورت لیتر به ازای هر انشعاب در روز محاسبه می‌کنند. مقدار آن برای منطقه مورد مطالعه از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد [۲]:

$$TIRL = \frac{\text{هدررفت های واقعی سالیانه}}{\text{تعداد انشعاب}} \quad (\text{لیتر به ازای هر مشترک در روز}) \quad (2)$$

### ۲.۳. میانگین هدررفت واقعی غیر قابل اجتناب (UARL)

مقدار متوسط غیر قابل اجتناب هدر رفت واقعی بر اساس شرایط محلی شامل تراکم انشعابات، موقعیت کنتورها و متوسط فشار شبکه تعریف می‌شود. مقدار UARL بر اساس رابطه (۳) بدست می‌آید [۳]:

$$UARL = [18 \times (Lm / NC) + 0.8 + 25 \times (LP / NC)] \times P \quad (3)$$

که در آن LM طول خطوط اصلی شبکه بر حسب کیلومتر، NC تعداد کل انشعابات، LP طول انشعابات از لبه خیابان تا محل نصب کنتور بر حسب کیلومتر و P فشار متوسط شبکه بر حسب متر می‌باشد.

### ۳. منطقه مورد مطالعه

مهاجران یکی از شهرهای تازه بنیان در استان مرکزی است که در فاصله ۲۵ کیلومتری شهر اراک در زمینی به مساحت ۱۱۲۸ هکتار در شمال جاده اراک - بروجرد و در مجاورت پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه حرارتی برق واقع شده است. جمعیت این شهر در سرشماری سال ۱۳۹۵، ۱۱۰۹ نفر برآورد شده است.

### ۴. محاسبه ارتفاع متوسط انشعابات (APH)

در این تحقیق ابتدا پارسل‌های شهری به همراه تراکم تعداد مشترکین آنها وارد محیط GIS شده و با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه ترازهای ارتفاعی در گروه‌هایی با فاصله ۳ متر از هم ایجاد گردید. با توجه تنوع ارتفاعی منطقه و مناطقی که از

<sup>1</sup> International Water Association

<sup>2</sup> American Water Works Association

<sup>3</sup> Technical Indicator for Real Losses

<sup>4</sup> Unavoidable Average Real Losses



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1<sup>st</sup> National Conference on Water Loss & Consumption Management



۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

هر کدام از مخازن شهر تامین آب می شوند، شهر را به ۷ قسمت تقسیم کرده و برای هر یک از مناطق تقسیم شده حدود بالا و پایین تراز ارتفاعی و مقدار متوسط تراز ارتفاعی هر محدوده محاسبه گردید.

سپس با استفاده از آنالیزهای موجود در نرم افزار ArcGIS تعداد مشترکین قرار گرفته در هر یک از ترازهای ارتفاعی برای هر قسمت شمارش شده و درصد مشترکین مربوط به هر محدوده با توجه به تعداد کل مشترکین برای هر ۷ قسمت محاسبه و با ضرب مقدار تراز متوسط هر محدوده در تعداد مشترکین آن محدوده، شاخص هر مشترک بدست می آید.

جدول ۱ نمونه‌ای از محدوده های تراز ارتفاعی موجود، تعداد و درصد مشترکین هر محدوده و مقادیر بدست آمده برای شاخص هر مشترک را در یکی از مناطق مورد بررسی نشان می دهد.

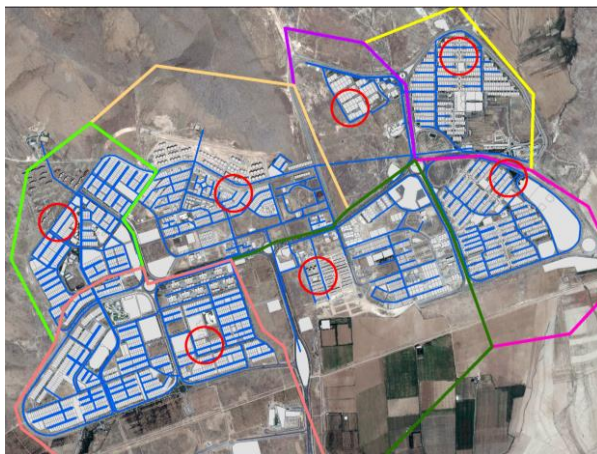
ارتفاع متوسط انشعابات برای عملیات فشار سنجی (APH) بوسیله برآورد تراز ارتفاعی هر انشعاب تعیین و سپس مقدار نقطه میانگین ناحیه (AZP) از نزدیک‌ترین شیر آتش نشانی در دسترس یا نقاط دیگر نزدیک به تراز APH برداشت شده و برای تفاوت موجود بین مقادیر واقعی و محاسبه شده توپوگرافی تصحیح و به این ترتیب مقدار فشار متوسط شبکه برآورد می شود.

جدول ۱- محاسبه تراز متوسط اشتراک ها (APH) برای یکی از مناطق

شاخص مشترک	تعداد مشترکین	درصد مشترکین	تراز متوسط	محدوده تراز
۵۷۳۷,۵	۳	۰,۴۴	۱۹۱۲,۵	۱۹۱۱-۱۹۱۴
۱۵۳۲۴	۸	۱,۱۶	۱۹۱۵,۵	۱۹۱۴-۱۹۱۷
۲۸۷۷,۵	۱۵	۲,۱۸	۱۹۱۸,۵	۱۹۱۷-۱۹۲۰
۹۷۹۹۶,۵	۵۱	۷,۴۱	۱۹۲۱,۵	۱۹۲۰-۱۹۲۳
۱۲۸۹۴۱,۵	۶۷	۹,۷۴	۱۹۲۴,۵	۱۹۲۳-۱۹۲۶
۳۴۳۰۹۵	۱۷۸	۲۵,۸۷	۱۹۲۷,۵	۱۹۲۶-۱۹۲۹
۳۱۶۶۰۲	۱۶۴	۲۳,۸۴	۱۹۳۰,۵	۱۹۲۹-۱۹۳۲
۲۱۴۶۱۸,۵	۱۱۱	۱۶,۱۳	۱۹۳۳,۵	۱۹۳۲-۱۹۳۵
۱۵۱۰۴۷	۷۸	۱۱,۳۴	۱۹۳۶,۵	۱۹۳۵-۱۹۳۸
۲۳۲۷۴	۱۲	۱,۷۴	۱۹۳۹,۵	۱۹۳۸-۱۹۴۱
۱۹۴۲,۵	۱	۰,۱۵	۱۹۴۲,۵	۱۹۴۱-۱۹۴۴
۱۳۲۷۳۵۶	۶۸۸	۱۰۰,۰۰	۵۵۸۰۷,۵	مجموع

با استفاده از مقادیر بدست آمده برای هر منطقه مقدار APH با تقسیم عدد مجموع شاخص مشترک بر تعداد مشترکین بدست می آید که برای هر منطقه بشرح زیر محاسبه شده است: منطقه ۱: ۱۹۰۵,۲۱ / منطقه ۲: ۱۹۰۶,۴۸ / منطقه ۳: ۱۹۰۷,۵۹ / منطقه ۴: ۱۹۳۶,۵۰ / منطقه ۵: ۱۹۳۹,۸۷ / منطقه ۶: ۱۹۴۹,۲۴ / منطقه ۷: ۱۹۲۹,۳۰

داده‌های ثبت شده برای AZP باید از نقاط در دسترس و نزدیک به تراز APH برداشت شوند. به همین منظور مناطقی از شهر که ارتفاع آن به مقدار محاسبه شده ی APH نزدیک تر باشد شناسایی شده تا فشار در آن منطقه اندازه گیری شود. شکل ۱ تصویر مناطق انتخاب شده برای اندازه‌گیری فشار را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- مناطق انتخاب شده برای اندازه‌گیری فشار شبکه آب

برای اندازه‌گیری فشار، دیتالاگرهایی را روی نقاطی از خطوط شبکه در مناطق انتخاب شده نصب کرده و بعد از مدت یک هفته اعداد اندازه‌گیری شده به عنوان فشار متوسط منطقه قرائت شد.

### ۵. محاسبه فشار متوسط

بعد از انجام تصحیحاتی روی مقادیر قرائت شده از دیتالاگرها، میانگین وزنی اعداد بدست آمده را بر اساس تعداد مشترکین هر منطقه بدست آوردیم که به عنوان مقدار فشار متوسط نهایی منطقه مورد مطالعه تلقی می‌شود.

$$\text{فشار متوسط نهایی} = \frac{\text{فشار متوسط} \times \text{تعداد مشترکین}}{\sum (\text{تعداد مشترکین})}$$

$$= \frac{(57,2 \times 1146) + (53,99 \times 982) + (31 \times 800) + (38 \times 550) + (51,1 \times 1507) + (55,81 \times 77)}{33,61 \times 688} = 46,73$$

### ۶. محاسبه میانگین هدررفت واقعی غیر قابل اجتناب (UARL)

بعد از محاسبه ی مقدار دقیق و تحقیقی فشار متوسط در منطقه مورد مطالعه، برای بدست آوردن میانگین هدررفت واقعی غیر قابل اجتناب، نیاز به محاسبه طول خطوط اصلی شبکه آب، تعداد کل انشعابات و طول انشعابات آب می‌باشد که مقدار آنها در محیط نرم افزار GIS اندازه گیری شد و با جایگذاری در رابطه UARL مقدار آن محاسبه گردید.



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1<sup>st</sup> National Conference on Water Loss & Consumption Management



۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

۸۸ کیلومتر :LM - ۵۷۵۰ اشتراک :NC - ۹,۲ کیلومتر :LP - ۴۶,۷۳ متر :P  
UARL: ۵۲,۱۳ لیتر برای مشترک در روز

## ۷. محاسبه شاخص فنی هدررفت واقعی (TIRL)

برای محاسبه شاخص فنی هدررفت واقعی نیاز به داشتن مقدار هدررفت های واقعی سالیانه می باشد که این مقدار از حاصل تفریق حجم تولید و مصرف یک سال بدست می آید [۲].

با توجه به اینکه حجم تولید و مصرف سالیانه شهر مهاجران در سال ۹۵ به ترتیب ۷۴۴۶۶۳۶ و ۵۵۲۲۹۲۱ لیتر در روز می باشد، مقدار هدررفت های واقعی سالیانه شهر مهاجران در سال ۹۵ برابر با ۱۹۲۳۷۱۵ لیتر در روز محاسبه می شود. شاخص فنی هدررفت واقعی با تقسیم مقدار هدررفت های واقعی سالیانه بر تعداد اشتراکات برابر با ۳۳۴,۵۶ لیتر برای هر مشترک در روز محاسبه می شود.

## ۸. محاسبه شاخص زیرساختی هدررفت (ILI)

با بدست آمدن مقادیر UARL و TIRL و با تقسیم UARL بر مقدار شاخص ILI را محاسبه می شود:

$$ILI = 334,56 / 52,13 = 6,41$$

از آنجا که ILI بصورت یک نسبت می باشد، هیچ واحدی نداشته و مقایسه بین سازمان ها و کشورهای مختلف را که از واحدهای اندازه گیری متفاوتی استفاده می کنند، آسان می کند.

## ۹. نتیجه گیری

با بدست آوردن مقدار ILI با استفاده از آنالیزهای انجام شده در محیط GIS و مقایسه آن با ماتریس هدررفت های فیزیکی که در جدول ۲ نشان داده شده است، متوجه می شویم که مقدار ILI بدست آمده در رده B (متوسط) می باشد که نشان دهنده این است که سیستم دارای پتانسیل بیشتر برای پیشرفت های معین می باشد و باید در ارتقا سطح نگهداری، کنترل فعالانه نشتی ها و مدیریت فشار کوشید.

جدول ۲- ماتریس هدف هدررفت های فیزیکی [۴]

هدررفت های فیزیکی در فشار متوسط				
رده	ILI	۲۰ متر	۳۰ متر	۴۰ متر
A	۴-۱	<۱۰۰	<۱۵۰	<۲۰۰
B	۸-۴	۲۰۰-۱۰۰	۳۰۰-۱۵۰	۴۰۰-۲۰۰
C	۱۶-۸	۴۰۰-۲۰۰	۶۰۰-۳۰۰	۸۰۰-۴۰۰
D	>۱۶	>۴۰۰	>۶۰۰	>۸۰۰

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، محاسبه شاخص ILI و سایر مشخصات شبکه شهر به کمک آنالیزهای نرم افزار ArcGIS عدد ۶,۴۱ را نشان داده است که این عدد در مقایسه با ILI تقریبی که در اثر نبود اطلاعات دقیق از شبکه توزیع بدست آمده است، اثر خود را در محاسبه حجم هدررفت اجتناب ناپذیر نشان داده است.

**جدول ۳- نتیجه حاصل از مقایسه روش تخمینی و روش محاسبه با کمک آنالیزهای GIS**

طول شبکه	تعداد مشترکین	فشار متوسط (متر)	طول انشعاب (متر)	ILI	UARL (لیتر برای هر مشترک در روز)	
۷۰/۶۲	۵۷۶۹	۴۰	۶	۷/۱	۴۷/۱۲	روش تخمینی
۸۸	۵۷۵۰	۴۶/۷۳	۹/۲	۶/۴۱	۵۲/۱۳	محاسبه به کمک GIS

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود بعد از انجام محاسبات با استفاده از اطلاعات بدست آمده از آنالیزهای GIS مقدار شاخص ILI نسبت به روش تخمینی کاهش یافته که این امر نشان دهنده بهبود رده عملکرد شرکت می‌باشد.

### ۱۰. قدردانی

برخود لازم می‌دانیم از زحمات مدیرعامل محترم شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، جناب مهندس عبدالرضا خلیلی مراتب سپاس را به عمل آوریم. همچنین از کارکنان امور آب و فاضلاب شهر مهاجران و همچنین جناب دکتر هوشنگ عیوضی که در تهیه این مقاله ما را یاری نمودند تشکر و قدردانی نماییم.

### ۱۱. مراجع

- [ ۱ ] علاف صالحی، عادل، مدیریت تلفات آب، تهران، فدک ایستاتیس، ۱۳۹۰.
- [ ۲ ] راهنمای بالانسینگ، دفتر مدیریت مصرف و نظارت بر کاهش آب بدون درآمد، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۸۸.
- [ ۳ ] آب و محیط زیست، نشریه شماره ۷۵، ۱۳۸۸.
- [ ۴ ] فارلی، مارکوم. وی‌یت، گری. غزالی، زین الدین بن محمد. ایستاندر، اری. سینگ، شر. راهنمای مدیران آب بدون درآمد، افضل مرادی، منوچهر، جعفری، عباد، طباطبایی، میثم، تهران، سپیدبرگ، ۱۳۹۰.