



شرکت آب فاضلاب کوزر پدین نین و مندی شهید ماسهر

# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

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

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



## معرفی شاخص ارزیابی نشت برای شبکه‌های آبرسانی جوامع کوچک

### سپیده ابراهیمی

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید

بهشتی

Sepidehebrahimi23@gmail.com

### محمدرضا جلیلی قاضی زاده

عضو هیات علمی دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

m\_jalili@sbu.ac.ir

### ایمان مصلحی

دانشجوی دکترای مهندسی عمران-آب، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

i\_moslehi@sbu.ac.ir

### محمود زنگنه

مدیر دفتر آب بدون درآمد شرکت آب و فاضلاب روستایی استان بوشهر

mz.abfar@yahoo.com

### خلاصه

کنترل هدررفت آب یکی از چالش‌های اساسی در شرکت‌های آبرسانی محسوب می‌شود. با در اختیار داشتن داده‌های اندازه‌گیری و مقایسه آن‌ها با مقادیر مورد انتظار، می‌توان برآوردی از مقدار هدررفت سامانه آبرسانی داشت. برای مقایسه عملکرد سامانه‌های آبرسانی با یکدیگر و همچنین مقایسه آنها با شرایط ایده‌آل از شاخص‌های عملکرد استفاده می‌شود، همچنین با استفاده از شاخص‌های ارزیابی برای ارتقاء عملکرد شبکه‌ها می‌توان اقدامات بهینه انجام داد. در این تحقیق شاخص عملکرد در سامانه آبرسانی روستایی و جوامع کوچک معرفی شده است. از آنجایی که استفاده از شاخص عملکرد *ILI* در سامانه‌های کوچک آبرسانی توصیه نمی‌شود، لذا شاخص *GLI* که کارایی آن در سامانه‌های کوچک بهتر از *ILI* می‌باشد در این تحقیق معرفی و برای یک مجموعه شبکه روستایی در استان بوشهر این شاخص محاسبه شده است.

کلمات کلیدی: نشت، تلفات، شبکه‌های آبرسانی، شاخص نشت، شاخص عملکرد.

### ۱- مقدمه

منابع آب شیرین در سطح زمین به‌طور یکنواخت توزیع نشده‌اند. در ایران محدودیت منابع آب وجود دارد و آب نقش کلیدی در فرآیند توسعه اقتصادی-اجتماعی دارد. عمده اقدامات صورت گرفته در جهت پاسخگویی به نیازهای آبی کشور از طریق مدیریت تولید و تامین آب بوده و کمتر به وجه دیگر این موازن که همانا مدیریت توزیع و مصرف صحیح آب می‌باشد،



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدر رفت آب

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

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



توجه شده است [۱]. با وجود محدودیت در منابع آب موجود، بخشی از آب وارد شده به سامانه آبرسانی در مراحل مختلف ذخیره و توزیع به هدر می‌رود و به دست مشترکان نمی‌رسد. طبق تعریف، آب بدون درآمد عبارتست از تفاوت بین حجم خالص آب تولید شده به مقدار آبی که برای آن قبض صادر شده است [۲]. با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده فشار و دبی در سامانه و مقایسه آن‌ها با مقادیر مورد انتظار، می‌توان تلفات را در صورت دسترسی به داده‌های اندازه‌گیری کافی برآورد کرد، اما صرفاً داشتن مقدار تلفات جهت درک مشکلات شرکت‌های آب و فاضلاب کفایت نمی‌کند و داشتن طرح یک برنامه‌ریزی و استراتژی اساسی برای کاهش این میزان تلفات الزامی است [۳]. شاخص‌های اجرایی ( $PI^1$ ) استاندارد در بسیاری صنایع از جمله صنعت آب به منظور امکان مقایسه عملکرد شرکت‌ها و سامانه‌های آبرسانی با شرایط ایده‌آل استفاده می‌شود. شاخص‌های اجرایی مرتبط با سامانه‌های آبرسانی توسط انجمن جهانی آب ( $IWA^2$ ) معرفی و توسعه داده شده‌اند. به منظور بررسی نرخ تلفات و نشت در شبکه‌های آبرسانی و برآورد عملکرد سامانه می‌توان از شاخص‌های نشت استفاده کرد [۴]. تابش و یکتا (۱۳۸۵) مدیریت نشت و چگونگی ارزیابی اقدامات انجام شده پس از کنترل نشت و همچنین مقایسه وضعیت شبکه‌های مختلف از لحاظ نشت را مورد بررسی قرار دادند. با ارائه روش‌های جدید مدیریت نشت، چگونگی تاثیر فاکتورهای محلی موثر بر نشت بر این روش‌ها و معرفی شاخص‌های عملکرد نشت به منظور دستیابی به معیار کمی جهت مقایسه وضعیت نشت در شبکه‌ها و ارزیابی اقدامات کنترل نشت پرداخته شده است [۵].

در تحقیق حاضر، ابتدا شاخص‌های اجرایی مختلف معرفی شده و معایب و مزایای هر یک مورد بحث قرار گرفته و شاخص اجرایی مناسب برای سامانه‌های کوچک معرفی شده است. در ادامه به عنوان یک مطالعه موردی سیستم آبرسانی مجتمع شهید زنده‌بودی بوشهر که شامل چندین شبکه روستایی است، مورد بررسی قرار گرفته است و هر یک از شاخص‌ها برای این سامانه آبرسانی محاسبه شده‌اند.

## ۲- مواد و روش‌ها

یکی از شاخص‌های مهم در برآورد عملکرد شبکه‌های آبرسانی شاخص زیربنایی نشت ( $ILI^3$ ) است. توسعه و بسط  $ILI$  از سال ۱۹۹۷ آغاز شد که یک شاخص عملکرد کلیدی برای بررسی فنی و ارزیابی مدیریت نشت محسوب می‌شود و در بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار گرفته است [۶]. این شاخص مطابق با معادله ۱ محاسبه می‌گردد.

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} \quad (1)$$

<sup>1</sup> Performance Indicators

<sup>2</sup> International Water Association

<sup>3</sup> Infrastructure Leakage Index



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

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

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



که در آن  $CARL$  هدررفت واقعی سالیانه جاری برحسب لیتر در روز و  $UARL$  هدررفت واقعی سالیانه اجتناب‌ناپذیر برحسب لیتر در روز می‌باشد.

شاخص  $ILI$  بدون بعد بوده و امکان مقایسه شرایط سامانه‌های کشور و مناطق مختلف را فراهم می‌آورد. هدررفت واقعی سالانه را می‌توان از طریق جدول تعادل سالیانه و یا روش اندازه‌گیری جریان شبانه محاسبه کرد. در هر شبکه آبرسانی حتی با وجود مدیریت خوب مقداری نشت واقعی وجود خواهد داشت که به آن نشت واقعی اجتناب‌ناپذیر ( $UARL$ ) گفته می‌شود که مطابق با معادله ۲ محاسبه می‌گردد [۴].

$$UARL(\text{liters / day}) = (18 \times L_m + 0.8 \times N_c + 25 \times L_p) \times P \quad (2)$$

که در آن  $L_m$  طول لوله‌های اصلی شبکه برحسب کیلومتر،  $N_c$  تعداد انشعابات،  $L_p$  کل طول لوله‌های خصوصی انشعاب از مرز ملک تا محل کنتور مشترک برحسب کیلومتر،  $P$  متوسط فشار شبکه برحسب متر می‌باشد. این شاخص، نسبت نشت موجود در یک شبکه به نشت اجتناب‌ناپذیر آن شبکه را تعیین می‌کند، بدین ترتیب که در شرایط ایده‌آل فنی این شاخص مقداری برابر با یک دارد. بنابراین هر چه این شاخص در شبکه مورد مطالعه از عدد یک بیشتر باشد، نشان‌دهنده نیاز به اقدامات لازم در راستای کاهش نشت شبکه می‌باشد. در صورت انجام عملیات نشت‌یابی مقدار نشت موجود در شبکه کم شده و به تبع آن مقدار  $ILI$  کاهش می‌یابد.  $ILI$  می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که یک سازمان به چه میزان در انجام مدیریت نشت موفق بوده است. سیستمی که خوب اداره شود  $ILI$  آن می‌تواند عدد یک باشد؛ اما نباید آن را لزوماً به عنوان یک هدف قرار داد چرا که  $dILI$  یک شاخص اجرای فنی است و ملاحظات اقتصادی در آن در نظر گرفته نشده است. مدیریت فشار از راهکارهای بسیار موثر در کاهش سطح نشت در سامانه‌های آبرسانی است در حالیکه  $ILI$  از نسبت دو جزئی حاصل می‌شود که هر دو متناسب با فشار هستند، لذا مدیریت فشار بر شاخص  $ILI$  تاثیر گذار نیست. برای رفع این مشکل شاخص دیگری تحت عنوان  $PMI$  مطابق معادله ۳ تعریف شده است [۴].

$$PMI = \frac{P}{MARP} \quad (3)$$

که در آن  $MARP$  فشار کمینه استاندارد بر حسب متر می‌باشد. مدیریت تلفات واقعی یا نشت از طریق چهار مولفه مدیریت فشار، سرعت و کیفیت تعمیر، کنترل فعال نشت و مدیریت سرمایه کنترل می‌گردد. حجم هدررفت واقعی سالانه جاری ( $CARL$ ) همواره متناسب با افزایش عمر سامانه تمایل به افزایش دارد. این افزایش را می‌توان با ترکیب مناسبی از چهار مولفه اصلی مدیریت نشت محدود نمود و نشت واقعی را به نشت اجتناب‌ناپذیر نزدیک کرد به عبارتی حداقل حجم هدررفت واقعی به لحاظ فنی که با اعمال روشهای مناسب به آن می‌توان دست یافت. شاخص  $ILI$  دارای محدودیت‌هایی برای استفاده در سامانه‌های آبرسانی می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌داد که در سامانه‌های کوچک و یا در سامانه‌هایی با فشار متوسط کم، مقدار  $ILI$  برآورد شده کمتر از یک می‌باشد [۶]. محدودیت‌های استفاده از این شاخص، در طی تحقیقات مختلف، مطابق جدول ۱ ارائه شده است.

<sup>1</sup> Current Annual Real Losses

<sup>2</sup> Unavoidable Annual Real Losses

جدول ۱: محدودیت‌های استفاده از شاخص ILI و روند تغییرات آن

سال	1999	2001	2005	2009
معیار	بدون محدودیت	$N_c > 5000$	$N_c > 3000$	$N_c + 20L_m > 3000$

اکثر شبکه‌های آبرسانی با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در جدول ۱ قید اندازه شبکه را ارضاء نمی‌کنند، از این رو این شاخص برای سامانه‌های کوچک توصیه نمی‌شود.

### ۱-۲- شاخص نشت کلی (GLI)

نشت در سامانه می‌تواند بر اثر کنترل نشت فعال کاهش یابد که این کاهش خود را در شاخص ILI نشان داده، همچنین کاهش نشت ناشی از مدیریت فشار در شاخص PMI لحاظ می‌شود، به منظور نشان دادن پتانسیل کاهش تلفات از طریق هر دو روش مذکور و دربرگرفتن عوامل موثر در کاهش نشت، شاخص دیگری با عنوان GLI مطابق با معادلات ۴ معرفی گردید [۴].

$$GLI = PMI \times ILI \quad (۴)$$

نشت اجتناب‌ناپذیر در فشارهای مختلف (معادله ۶) می‌تواند بر اساس نشت اجتناب‌ناپذیر در فشار واحد (معادله ۵) محاسبه شود. بنابراین معادله ILI مطابق معادله ۷ بازنویسی می‌شود.

$$UARL_1 = 18 \times L_m + 0.8 \times N_c + 25 \times L_p \quad (۵)$$

$$UARL_p = UARL_1 \times P \quad (۶)$$

$$ILI = \frac{CARL}{UARL_1 \times P} \quad (۷)$$

معادلات ILI و PMI مطابق ۷ و ۳ در معادله ۴ جایگذاری شده و معادلات ۸ و ۹ حاصل می‌شود.

$$GLI = \frac{CARL}{UARL_1 \times P} \times \frac{P}{MARP} \quad (۸)$$

$$GLI = \frac{CARL}{UARL_1 \times MARP} \quad (۹)$$

بنابراین:

<sup>1</sup> Global Leakage Index



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب



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

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

$$GLI = \frac{CARL}{UARL_{MARP}} \quad (10)$$

که در آن  $UARL_{MARP}$  مقدار نشت اجتناب‌ناپذیر به‌ازای فشار کمینه استاندارد می‌باشد.

همانگونه که در معادله ۱۰ مشاهده می‌شود، شاخص  $GLI$  مستقل از فشار متوسط شبکه است. این ویژگی شاخص  $GLI$  بسیار مؤثر بوده چرا که در بسیاری از سامانه‌ها مقدار فشار معلوم نیست، بنابراین محاسبات این شاخص آسان است. در ارزیابی عملکرد این شاخص در خصوص سامانه‌های روستایی و جوامع کوچک، بررسی‌ها نشان می‌دهد که طول لوله‌های اصلی ( $L_m$ ) در مقایسه با تراکم انشعابات ( $D$ ) اثرگذاری کمتری بر مقدار تلفات دارد [۷]. بنابراین تصحیحاتی در شاخص  $ILLI$  انجام گردید و نشت اجتناب‌ناپذیر به‌صورتی تعریف می‌شود که اثرپذیری تلفات از تراکم انشعابات در آن لحاظ شود (معادله ۱۱ و ۱۲). بنابراین برآورد و تخمینی از شاخص اجرایی  $GLI$  برای سامانه‌های کوچک تحت عنوان  $GLI^E$  را می‌توان بصورت معادله (۱۳) تعریف کرد.

$$UARL^E \text{ (liters / day)} = \left( \frac{18}{D_{ref}} \times N_c + 0.8 \times N_c + 25 \times lp_{ref} \times N_c \right) \times P \quad (11)$$

$$UARL^E \text{ (liters / day)} = \left( \frac{18}{D_{ref}} + 0.8 + 25 \times lp_{ref} \right) \times P \times N_c \quad (12)$$

که در آن  $D_{ref}$  تراکم انشعابات بر حسب تعداد انشعابات در هر کیلومتر و  $lp_{ref}$  متوسط طول لوله‌ها از مرز ملک مشترک تا کنتور مشترک بر حسب کیلومتر می‌باشد.

$$GLI^E = \frac{CARL}{UARL^E_{MARP}} \quad (13)$$

لذا داریم:

$$UARL^E_{MARP} \text{ (liters / day)} = \left( \frac{18}{D_{ref}} + 0.8 + 25 \times lp_{ref} \right) \times MARP \times N_c \quad (14)$$

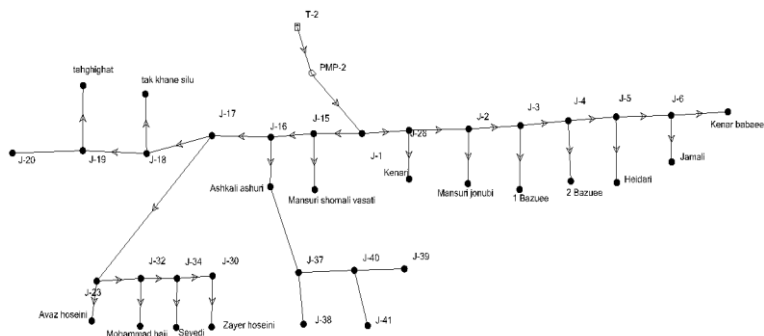
مطابق جدول ۲ محدوده شاخص  $GLI^E$  به‌منظور بررسی سطح تلفات در سامانه ارائه شده است.

**جدول ۲: ارزیابی  $GLI^E$**

سطح تلفات آب خیلی کم	$GLI^E \leq 1$
سطح تلفات آب کم	$1 < GLI^E \leq 3$
سطح تلفات آب متوسط	$3 < GLI^E \leq 5$
سطح تلفات آب بالا	$5 < GLI^E \leq 10$
سطح تلفات آب خیلی بالا	$10 \leq GLI^E$

### ۳- مطالعه موردی

سامانه آبرسانی مورد مطالعه در این تحقیق با نام مجتمع شهید زنده‌بودی در دهستان اهرم شهرستان تنگستان استان بوشهر واقع شده است که شامل ۱۳ روستا با اسامی کنار بابایی، جمالی، حیدری، بازویی، منصوری جنوبی، کناری، منصوری شمالی، منصوری وسطی، اشکالی محمد حاجی، اشکالی زائر حسینی، اشکالی عاشوری، اشکالی سیدی و اشکالی عوض حسینی بوده (شکل ۱) و دارای ۱۱۹۱ مشترک تحت پوشش و حدود ۴۴۳۷ نفر جمعیت را دارا می‌باشد.



شکل ۱: مدل و نمای شماتیک خط انتقال، روستاها، مخزن و ایستگاه پمپاژ سامانه مورد مطالعه

### ۴- نتایج و بحث

سامانه آبرسانی ناحیه مورد مطالعه مجهز به حسگرهای فشارسنج و دبی‌سنج در ورودی و خروجی مخزن و در ورودی‌های هر یک از روستاها می‌باشد و داده‌های دبی و فشار را به صورت پیوسته در زمان گزارش می‌دهند. مقدار تلفات واقعی محاسباتی در مخزن برابر ۳/۷ درصد، در خط انتقال ۱۱/۴ درصد و شبکه روستاها ۰/۱۷ درصد می‌باشد. بنابراین در کل سیستم ۱۵/۲ درصد آب ورودی به سیستم، تلفات واقعی وجود دارد. [۸].

به منظور بررسی شاخص‌های اجرایی در این سامانه ابتدا محدودیت‌های استفاده از شاخص  $ILI$  مطابق جدول ۱ مورد بررسی قرار گرفت که سامانه مورد مطالعه هیچ یک از روابط را ارضاء نکرد، بنابراین با توجه به پیشنهاد مراجع مختلف استفاده از شاخص  $ILI$  در این سامانه توصیه نمی‌گردد. با توجه به آن که در سامانه‌های روستایی اثر تراکم انشعابات ( $D$ ) از طول لوله‌های اصلی شبکه بیشتر می‌باشد از شاخص اجرایی  $GLI^E$  برای سامانه مورد مطالعه مطابق با معادله ۱۳ استفاده شد. در این سامانه فشار متوسط برابر با ۱۷ متر و کمینه فشار در شبکه‌های روستایی برابر با ۱۴ در نظر گرفته شد. تعداد کل انشعابات ۱۱۹۱ عدد و طول کل شبکه برابر ۲۹/۱۲ کیلومتر است. بنابراین مقدار تراکم انشعابات  $D_{ref}$  برابر ۴۰/۹ انشعاب در کیلومتر برآورد گردید. حدهااصل بین مرز ملک تا کنتور مشترک به طور متوسط ۲ متر برای هر انشعاب در نظر گرفته شده، بدین ترتیب مقدار  $Lp$  در مجموع همه روستاها برابر با ۲/۳۸ کیلومتر برآورد گردید. با توجه به مقدار  $Lp$  و تعداد انشعابات  $lp_{ref}$  برابر ۰/۰۰۲ حاصل شد. بنابراین مقدار نشت اجتناب‌ناپذیر ( $UARL^E$ ) ۲۱۵۰۸ لیتر بر روز می‌باشد و با توجه به نشت موجود و معادله ۱۳ مقدار  $GLI^E$  برای کل سامانه برابر با ۱۰/۲ محاسبه گردید. مطابق جدول ۲ برآورد شاخص  $GLI^E$  بیانگر نیاز به اقدامات نشت‌یابی برای کاهش تلفات می‌باشد.



# اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

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

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



## ۴- نتیجه گیری

با استفاده از شاخص های اجرایی می توان بر آوردی از عملکرد شبکه در اختیار داشت و پیرو آن اقدامات بهینه در راستای کاهش نشت صورت پذیرد. شاخص  $ILI$  از جمله شاخص های اجرایی پر کاربرد می باشد اما در سامانه های کوچک به دلیل محدودیت های حداقل اندازه شبکه، استفاده از این شاخص توصیه نمی گردد. بنابراین بهتر است از شاخصی که مناسب شبکه های آبرسانی کوچک بوده و عملکرد شبکه در مقابل نشت را به خوبی نشان می دهد استفاده شود که در این مقاله شاخص  $GLI^E$  معرفی و به کار برده شد. به عنوان مطالعه موردی عملکرد سامانه آبرسانی روستایی متشکل از ۱۳ شبکه روستایی در استان بوشهر مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور شاخص های مختلف بررسی شدند و همانطور که انتظار می رفت محدودیت های شاخص  $ILI$  در سیستم مورد مطالعه ارضاء نشد، بنابراین شاخص  $GLI^E$  مورد ارزیابی قرار گرفت. آگاهی از مقدار شاخص های اجرایی در تخصیص سرمایه به منظور ارتقاء عملکرد سیستم آبرسانی و بهینه کردن اقدامات مدیریتی و نشت یابی موثر می باشد. نتایج این مقاله و روش محاسبه می تواند به عنوان الگو برای محاسبه شاخص نشت در شبکه روستاها مورد استفاده قرار گیرد.

## ۵- مراجع

۱. نصیریان، ع. (۱۳۹۲). کاربرد روشهای مبتنی بر نشت یابی در شبکه های توزیع آب شهری، پایان نامه دکتری، گروه عمران، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
2. Thornton, J., (2002), "Water losses manual", McGraw Hill.
۳. عباسپور، ف. (۱۳۹۲)، ارزیابی آب بدون درآمد، مجله آب و توسعه پایدار، سال ۱، شماره ۱، ص ۸۹-۹۶.
4. E. Renaud. Towards a global performance indicator for losses from water supply systems. Water Loss 2010, Jun 2010, Sao Paulo, Brazil. 11 p., 2010. <hal-00593479>.
۵. تابش، م. یکتا، م.ا. (۱۳۸۵)، بررسی شاخص های عملکرد نشت در شبکه های توزیع آب شهری، هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
6. Lambert, A.O., Koelbl, J., Fuchs-Hanusch, D. (2014). Interpreting ILIs in Small Systems.
7. Renaud, E., Brémond, B., Poulton, M. (2007) Studies of reference for the linear losses index in the case of rural water distribution systems. IWA Water Loss 2007 conference proceedings.
۸. جلیلی قاضی زاده، م. زنگنه، م. ابراهیمی، س. پورخاقان (۱۳۹۶)، شناسایی و تفکیک هدررفت آب در سامانه آبرسانی شهرستان تنگستان بوشهر، اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب، تهران، دانشگاه شهید بهشتی.





اولین همایش ملی  
**مدیریت مصرف و هدر رفت آب**  
 1<sup>st</sup> National Conference on  
 Water Loss & Consumption Management



۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶