

## Benchmarking Non-Revenue Water and Calculating Economic Leakage Level, Case Study: Isfahan Water and Wastewater Company

Asieh Sadat Mollabashi<sup>1\*</sup>, Hashem Amini<sup>2</sup> and Hasan Gholami<sup>3</sup>

1- Manager of NRW Reduction and Water Consumption Department of Isfahan Water and Wastewater Company

2- General Manager of Isfahan Water and Wastewater Company

3- Deputy of Operation of Isfahan Water and Wastewater Company

\* Corresponding Author, Email: amollabashi@gmail.com

Received: 16/3/2018

Revised: 01/8/2018

Accepted: 18/8/2018

### Abstract

Recognizing, calculating and planning for reducing Non-Revenue Water (NRW) has been one of the aims and plans in Iranian water and wastewater companies for more than two decades. In the meantime, Real Losses (RL), which constitute a major part of non-revenue water, are mainly due to leakage in various parts of the water supply systems and a large part of the NRW reduction activities is put to prevent and reduce RL. However, like other projects and activities, it should be implemented to the extent with economic justification. Since it is difficult to achieve a quick and practical method for calculating the economic leakage rate, the companies often use a reduction in the percentage of non-revenue water in their targeting. However according to the IWA, the use of percentage of NRW as a technical indicator is never been recommended. In this paper, followed by a quick review of the performance indicators of non-revenue water, the method of benchmarking of non-revenue water, targeting actions, and calculating the economic leakage level (ELL) are presented for a city in Isfahan province. In this city, the real loss was 7 times the economic level of leakage. Therefore, the real loss reduction measures were proposed and planned among which the active leak detection in 10-month interval was the priority due to high ILI.

**Keywords:** Active leakage detection, Benchmarking, Economic leakage level, Non-revenue water, Water real loss.

## بنچ مارکینگ آب بدون درآمد و محاسبه سطح اقتصادی نشت، مطالعه موردی: شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

آسیه سادات مولاباشی<sup>۱\*</sup>، هاشم امینی<sup>۲</sup> و حسن غلامی<sup>۳</sup>

۱- مدیر دفتر مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

۲- رئیس هیأت مدیره و مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

۳- معاون بهره برداری شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان  
\* نویسنده مسئول، ایمیل: amollabashi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۵

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۷

### چکیده

شناخت، محاسبه و برنامه‌ریزی کاهش آب بدون درآمد (NRW) بیش از دو دهه است که در رؤس اهداف و برنامه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب ایران قرار گرفته است. در این میان هدررفت‌های واقعی (RL) که قسمت عمده‌ای از آب بدون درآمد را تشکیل می‌دهد عمدتاً ناشی از نشت در قسمت‌های مختلف سیستم آبرسانی بوده که بخش بزرگی از فعالیت‌های کاهش NRW برای جلوگیری و کاهش آن صرف می‌شود. لیکن همچون سایر پروژه‌ها و فعالیت‌ها باید تا حدی انجام شود که توجیه اقتصادی داشته باشد. از آنجا که دستیابی به یک روش سریع و عملی برای محاسبه سطح اقتصادی نشت، مشکل است شرکت‌های آبفا اغلب از کاهش درصد آب بدون درآمد در هدف‌گذاری خود استفاده نموده‌اند که بنا به تأکید IWA استفاده از درصد NRW به‌عنوان یک شاخص فنی به‌هیچ عنوان توصیه نمی‌شود. در این مقاله ضمن مرور سریع و کلی شاخص‌های عملکردی آب بدون درآمد، روش بنچ‌مارکینگ آب بدون درآمد، هدف‌گذاری اقدامات و محاسبه سطح اقتصادی نشت (ELL) که به‌طور عملی در آبفای استان اصفهان و برای یک شهر انجام گرفته است، ارائه می‌شود. در شهر مذکور، هدررفت واقعی ۷ برابر سطح اقتصادی نشت بوده که با توجه به ILI بالا، اقدامات کاهش هدررفت واقعی که در رأس آن‌ها نشت‌یابی فعال در بازه زمانی ۱۰ ماهه است، در برنامه عملیاتی آن شهر قرار گرفت.

**کلمات کلیدی:** آب بدون درآمد، بنچ‌مارکینگ، هدررفت واقعی آب، سطح اقتصادی نشت، نشت یابی فعال.

در اروپا، آسیا و آفریقا آزمایش کرد، ویرایش دوم شاخص‌ها در سال ۲۰۰۶ و طبق جدول ۱ پیشنهاد شد.

در هر دو ویرایش اول و دوم شاخص‌های عملکردی IWA، به‌طور واضح گفته می‌شود که بیان NRW به‌صورت درصدی از حجم ورودی سیستم نمی‌تواند برای ارزیابی راندمان مدیریت توزیع، شرایط زیرساختی و هدررفت استفاده شود. متأسفانه برخی کاربران که ادعا می‌کنند از روش IWA پیروی می‌کنند این نکته مهم را نادیده می‌گیرند. به‌طور خلاصه می‌توان استفاده مناسب و نامناسب از شاخص درصد NRW از حجم آب ورودی به سیستم را در جدول ۲ بیان نمود (Lambert et al., 2014).

### ۱-۲- پنج‌مارکینگ

به‌دنبال تعریف شاخص، مسئله پنج‌مارکینگ نیز مطرح می‌شود. پنج‌مارکینگ فرآیندی مستمر و سیستماتیک برای شناسایی، تحلیل و پیاده‌سازی بهترین اقداماتی است که منجر به ارتقای عملکرد می‌شود. به‌عبارت دیگر فرآیندی مداوم به‌منظور مقایسه عملیات است. اما منظور از مقایسه چیست؟ به‌طور کلی انواع پنج‌مارکینگ عبارت است از مقایسه چه چیزی؟ و مقایسه با چه چیزی؟

داده‌های پنج‌مارکینگ یک چارچوب برای هر شرکت برای رصد کردن اهداف و بهبود آن فراهم می‌کند. استفاده از داده‌های پنج‌مارکینگ یا آغاز فرایند اندازه‌گیری عملکرد می‌تواند کلیدی برای بهبود عملکرد باشد. IWA در سال ۲۰۰۸ پنج‌مارک‌های آب بدون درآمد را در دو دسته تقسیم کرد (Lambert et al., 2014):

**پنج‌مارک اندازه‌گیری:** مقایسه شاخص‌های عملکردی سیستم‌هایی که دارای مشخصه‌های متفاوتی هستند.

**پنج‌مارک فرآیندی:** شناسایی بهترین عملیات برای بهبود عملکرد

در سال ۲۰۱۰ مجدداً IWA این پنج‌مارک‌ها را به‌ترتیب با پنج‌مارک ارزیابی عملکرد و پنج‌مارک بهبود عملکرد جایگزین نمود. بدین ترتیب شاخص‌های عملکردی NRW و هدررفت آب به آسانی برای مقاصد زیر انتخاب می‌شوند:

- هدف‌گذاری و رصد نمودن یک سیستم و زیر سیستم‌ها. به‌عنوان مثال شاخص هدررفت واقعی اجتناب‌ناپذیر UARL.
- مقایسه فنی بین سیستم‌هایی که هر کدام مشخصه‌های خاص

امروزه تقاضای آب با توجه به رشد سریع جمعیت، تغییرات استانداردهای زندگی و توسعه صنایع در حال افزایش است در حالی که منابع آب تجدیدپذیر رو به کاهش هستند که منجر به چالش یا بحران آب و به‌طور ویژه در برخی از کشورهای جهان شده است. لذا مدیریت تقاضا و عرضه آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سطح تقاضای آب می‌تواند تا اندازه‌ای کاهش یابد، اگر هدررفت آب (مخصوصاً هدررفت واقعی) کاهش یابد. در کشورهای در حال توسعه مدیریت هدررفت آب با توجه به محدودیت‌های مالی، سطح پائین مهارت و تجربه و همچنین تکنولوژی به یک چالش تبدیل شده است. از طرف دیگر علاقه قابل‌توجهی در میان شرکت‌های آبی در کلیه کشورهای جهان برای تعیین سطح آب بدون درآمد (NRW) در سیستم آبرسانی و توزیع آب و سود حاصل از اقدامات کاهش آن وجود دارد (Kanakoudis and Gonelas, 2016).

برای اقدامات کاهش آب بدون درآمد همچون سایر اقدامات فنی نیاز به هدف‌گذاری، بررسی راندمان، اثربخشی و بهره‌وری بوده که برای بررسی این موارد نیاز به تعریف شاخص، پنج‌مارک و مقایسه آن‌ها است. در این مقاله ضمن مروری کوتاه بر شاخص‌های عملکردی آب بدون درآمد، محاسبه شاخص‌ها و تعیین سطح اقتصادی نشت در استان اصفهان انجام می‌شود. با توجه به بررسی انجام شده، محاسبه سطح اقتصادی نشت در ایران یا انجام نشده و یا در حد محدود و تئوریک بوده و نتایج آن منتشر نشده است. لذا به‌منظور توسعه آن در سطح کشور، در این مقاله نمونه عملی انجام شده در آبفای اصفهان، روش انجام و نتایج حاصل از آن ارائه می‌شود.

### ۱-۱- شاخص‌های عملکردی آب بدون درآمد

اولین شاخص‌های عملکردی سیستم‌های آبرسانی که شامل ۱۳۳ شاخص برای محدوده وسیعی از اقدامات سیستم‌های آبرسانی می‌شد توسط Alegre و همکاران ارائه شده بود به‌وسیله IWA در سال ۲۰۰۰ منتشر شد. در این میان مجموعه کوچکی از شاخص‌های عملکردی NRW و هدررفت که در سال ۱۹۹۹ توسط Lambert توسعه داده شده بود در میان این شاخص‌ها قرار گرفت (Lambert et al., 2014). بعد از آنکه IWA شاخص‌های ویرایش اول را در ۷۰ کشور داوطلب

جدول ۱- شاخص‌های عملکردی NRW طبق ویرایش دوم IWA (Lambert at al., 2014).

شاخص	گروه شاخص	واحد	توضیحات
NRW	مالی و اقتصادی	%	آسان‌ترین و متداول‌ترین راه برای ارزیابی NRW از نقطه نظر مالی و اقتصادی
NRW	مالی و اقتصادی	%	یک شاخص نوآورانه که البته محاسبه آن برای ارزیابی زیرسیستم‌ها و DMAها سخت است.
هدررفت آب	بهره‌برداری	M <sup>3</sup> /con/year	کمتر از شاخص‌های هدررفت واقعی و هدررفت ظاهری به کار برده می‌شود.
هدررفت ظاهری	بهره‌برداری	%	برای سیستم توزیع مناسب است. در ویرایش اول با واحد M <sup>3</sup> /con/year ارائه شده بود.
هدررفت ظاهری	بهره‌برداری	%	برای کنتورهای حجیم ورودی به سیستم مناسب است. در ویرایش اول با واحد M <sup>3</sup> /con/year ارائه شده بود.
هدررفت واقعی	بهره‌برداری	Lit/con/day	یک شاخص عملکردی که بسیار مناسب‌تر از شاخص درصد است. تراکم انشعابات یک عامل مهم تأثیرگذار در حجم نشت است.
هدررفت واقعی	بهره‌برداری	Lit/km/day	برای سیستم‌هایی که تراکم انشعاب بسیار کم است و طول شبکه یک عامل مهم و غالب است.
شاخص زیربنایی نشت ILI	بهره‌برداری		این شاخص کمک می‌کند که بتوان عواملی که به شرایط فیزیکی شبکه مرتبط نیستند که بر میزان نشت تأثیر قابل توجهی داشته باشند را حذف نمود. حداقل هدررفت واقعی که قابل دسترس باشد UARL (هدررفت اجتناب ناپذیر) نامیده می‌شود.
عدم کارایی استفاده از منابع آبی	منابع آبی		درصدی از آبی که وارد سیستم می‌شود و قبل از رسیدن به کنتور مشترکین از طریق نشت و سرریز هدر می‌رود.

جدول ۲- موارد استفاده از شاخص درصد NRW از حجم آب ورودی به سیستم (Lambert at al., 2014).

نوع استفاده	کاربرد
نامناسب	مدیریت توزیع
	مدیریت هدررفت
مناسب	مالی
	اقتصادی
	مدیریت منابع آب

خود (تراکم انشعاب، طول انشعاب و فشار شبکه) را دارند. به عنوان مثال شاخص نشت زیربنایی ILI.

### ۱-۳- سطح اقتصادی نشت

از بین چهار فعالیت کاهش هدررفت واقعی، مدیریت دارایی و لوله‌ها که اغلب به صورت جایگزینی و تعویض لوله‌ها انجام می‌شود یک فعالیت دیربازده و پرهزینه (نیاز به سرمایه‌گذاری)

است. بنابراین به عنوان اقدام بلندمدت (long-run) شناخته شده و در عوض سه فعالیت مدیریت فشار، نشتیابی فعال و سرعت و کیفیت حوادث اقدامات زودبازده هستند که به عنوان اقدامات کوتاهمدت (short-run) لحاظ می‌شوند (Fantozzi and Lambert, 2008). به همین ترتیب محاسبات سطح اقتصادی نشت نیز در دو مرحله بلندمدت و کوتاهمدت انجام می‌پذیرد.

مدیریت فشار به عنوان یک اقدام بسیار سودمند و اثربخش است که تأثیر مستقیم بر روی کاهش نشت، کاهش هدررفت و کاهش مصرف دارد. از نظر اقتصادی تأثیر مدیریت فشار بر کاهش حوادث و میزان نشت به عنوان سود (کاهش هزینه) و تأثیر آن در کاهش مصرف به عنوان کاهش سود (کاهش درآمد) لحاظ می‌شود که باید در محاسبه سطح اقتصادی نشت مربوط به این فعالیت در کنار هزینه انجام این فعالیت لحاظ شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

در سال ۲۰۰۵ مؤسسه بانک جهانی برای ارزیابی عملکرد مدیریت هدررفت آب، جدولی ارائه کرد که در آن برای کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته، ILI را در چهار محدوده طبقه‌بندی نموده که در هر محدوده وضعیت کلی زیرساخت ارائه شده است. این طبقه‌بندی در جدول ۳ ارائه شده است. این مؤسسه جدول ۴ را نیز ارائه نمود که اقداماتی را برای هر محدوده پیشنهاد کرده است (Lambert et al., 2014; Lambert and Taylor, 2010).

به طور کلی اقدامات کاهش هدررفت واقعی در چهار دسته طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از: مدیریت فشار، نشتیابی فعال، سرعت و کیفیت رفع حوادث و مدیریت دارایی و لوله‌ها شامل تعویض و اصلاح خطوط لوله. شکل ۱ تصویری نمادین از این فعالیت‌ها را نشان می‌دهد. برای هر کدام از این اقدامات چهارگانه یک سطح اقتصادی وجود دارد که در فاصله بین UARL (هدررفت واقعی اجتناب‌ناپذیر) و CARL (هدررفت واقعی موجود) قرار دارد (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۰).

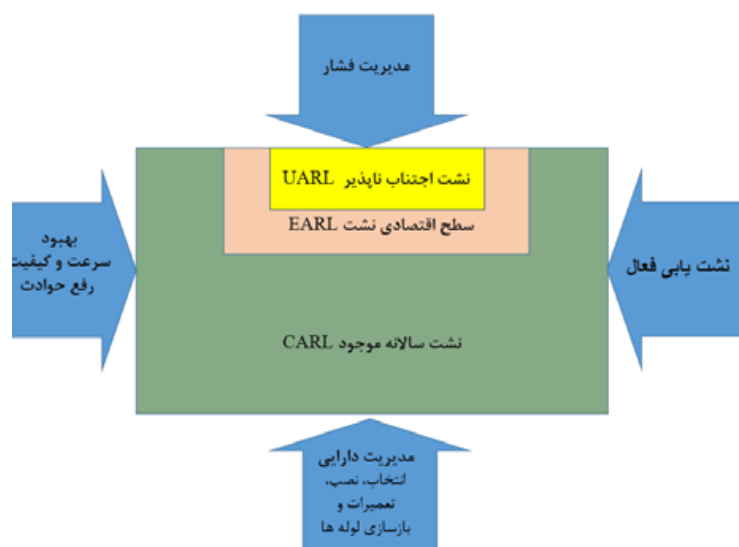
آنچه که در گام بعدی برای تمامی شهرها و از جمله شهرهای محدوده A باید انجام شود تعیین سطح اقتصادی نشت است. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در هر شبکه آبرسانی، سطحی از مقدار هدررفت واقعی آب وجود دارد که کاهش هدررفت آب به پایین‌تر از این سطح به هیچ عنوان توجیه اقتصادی ندارد. هدف‌گذاری شرکت‌ها باید رسیدن به سطح اقتصادی نشت قرارگیرد. در محاسبه سطح اقتصادی نشتیابی فعال که به عنوان یک فعالیت تأثیرگذار کوتاهمدت در کاهش هدررفت واقعی محسوب می‌شود، کاهش میزان نشت به عنوان سود در کنار هزینه اجرای این فعالیت لحاظ می‌شود. نشتیابی فعال شامل دو فعالیت اصلی اندازه‌گیری جریان شبانه و عملیات نشتیابی است. شکل ۲ تصویری شماتیک از این فرایند نشتیابی فعال را نشان می‌دهد (Fantozzi and Lambert, 2008). بدین ترتیب که پس از انجام عملیات نشتیابی شبکه، با پایش پیوسته (و در صورت عدم امکان به صورت دوره‌ای) جریان شبانه اندازه‌گیری می‌شود. به طور

جدول ۳- طبقه‌بندی شاخص ILI توسط مؤسسه بانک جهانی (2005)  
(Lambert et al., 2014; Lambert and Taylor, 2010)

نمای کلی مدیریت هدررفت واقعی	محدوده	کشورهای توسعه یافته	کشورهای در حال توسعه
		محدوده ILI	محدوده ILI
کاهش بیشتر هدررفت ممکن است غیراقتصادی باشد، مگر در وضعیت کمبود آب. تحلیل دقیق‌تری برای بررسی اقتصادی لازم است.	A	< 2	< 4
امکان بهبود قابل توجه وجود دارد. مدیریت فشار، عملیات بهتر نشتیابی فعال و نگهداری شبکه انجام شود.	B	2-4	4-8
گزارشات ضعیفی از نشت وجود دارد. تنها اگر آب فراوان و ارزان بود قابل قبول است و گرنه تحلیل وضعیت نشت و تلاش‌های بیشتر برای کاهش نشت انجام شود.	C	4-8	8-16
استفاده ناکارآمد از منابع آب وجود دارد. برنامه‌های کاهش نشت امری ضروری و اولویت دار است.	D	8<	16<

جدول ۴- توصیه‌های مؤسسه بانک جهانی برای محدوده‌های تعریف شده ILI (2005)  
(Lambert et al., 2014; Lambert and Taylor, 2010)

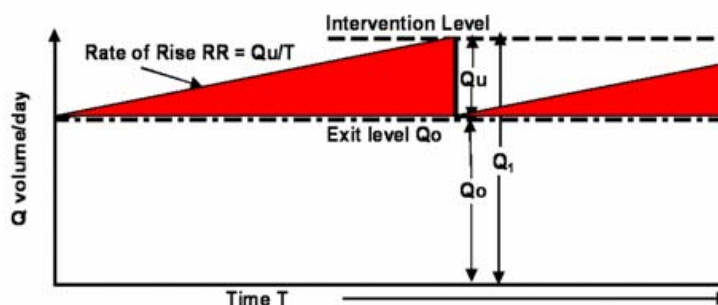
D	C	B	A	توصیه‌های بانک جهانی برای محدوده‌ها
	*	*	*	گزینه‌های مختلف مدیریت فشار بررسی شود
	*	*	*	سرعت و کیفیت تعمیرات بررسی شود
		*	*	فاصله زمانی اقتصادی عملیات نشت‌یابی بررسی شود
	*	*		کنترل فعال نشت انجام شود/بهبود داده شود
	*	*		گزینه‌های مختلف بهبود نگهداری شناسایی شود
		*	*	سطح اقتصادی نشت ارزیابی شود
	*	*		فاصله زمانی حوادث بازنگری شود
*	*	*		سیاست مدیریت دارایی بازنگری شود
*	*			ناکارایی نیروی انسانی، آموزش و ارتباطات رفع شود
*	*			برای رسیدن به محدوده قبلی برنامه‌ریزی ۵ ساله انجام شود
*				بازبینی اساسی کلیه فعالیت‌ها انجام شود



شکل ۱- اقدامات چهارگانه کاهش هدررفت واقعی (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۰)

براساس نشت‌یابی فعال ارائه می‌شود فرض بر آن است که مدیریت فشار قبلاً انجام شده است. IWA در سال ۲۰۰۵ روابطی را ارائه نمود (روابط ۱ تا ۴) که با استفاده از آن‌ها می‌توان سطح اقتصادی نشت را محاسبه کرد (Lambert and Lalonde, 2005; Lambert and Fantozzi, 2005; Fanner and Lambert, 2009). اساس این روابط بر فاصله زمانی مداخله (عملیات نشت‌یابی) است که در آن هزینه

طبیعی در هر شبکه با گذشت زمان نشتی‌های کوچک و نامرئی ایجاد می‌شود که به تدریج باعث افزایش جریان شبانه می‌شود. جریان شبانه که به یک حدی رسید زمان آن است که باید مجدداً عملیات نشت‌یابی انجام شود. بنابراین نرخ افزایش جریان شبانه، هزینه عملیات نشت‌یابی و ارزش ریالی آب هدر رفته از جمله عواملی هستند که در محاسبه سطح اقتصادی نشت لحاظ می‌شوند. در محاسبات سطح اقتصادی نشت که



شکل ۲- تصویر شماتیک از افزایش نشت های گزارش نشده با گذشت زمان (Fantozzi and Lambert, 2008)

برای کلیه ۹۳ شهر تحت پوشش آبفا اصفهان آغاز شد. محاسبه این شاخص با استفاده از رابطه (۵) صورت گرفت (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۰).

$$UARL = \left( 18 \times \frac{L_m}{N_c} + 0.8 + 25 \times \frac{L_p}{N_c} \right) \times P \quad (5)$$

که  $L_m$ : طول شبکه (کیلومتر)،  $N_c$ : تعداد انشعابات،  $L_p$ : طول متوسط لوله انشعابات (متر) و  $P$ : فشار متوسط آب در شبکه (متر) هستند.

اگرچه محاسبات UARL با تخمین پارامترهای مختلف سیستم قابل انجام بود لیکن تلاش شد که تمامی پارامترها مقادیر واقعی و مستند باشند و این منجر شد که تنها برای ۴۹ شهر استان این شاخص محاسبه شود. فشار متوسط شبکه از سامانه فشارسنجی، طول متوسط انشعاب از نرم افزار نصب انشعاب و GIS و طول شبکه و تعداد انشعابات از سامانه های MIS و GIS استخراج شد. مواردی که باعث شد که امکان محاسبه شاخص UARL برای برخی از شهرها وجود نداشته باشد فقدان یا عدم قطعیت یکی از پارامترهای فشار متوسط شبکه، طول متوسط انشعاب یا طول کل شبکه بود. حتی در برخی از شهرها با وجود اطلاعات فشار شبکه، از آنجایی که محل نصب فشارسنجی در نقطه میانگین ناحیه (AZP) نبود، اطلاعات فشارسنجی قابل استناد و کاربرد برای محاسبه هدررفت واقعی سالانه اجتناب ناپذیر نبود.

محاسبه شاخص زیربنایی نشت (ILI) در ادامه پنج مارکینگ انجام گرفت که طبق رابطه (۶) قابل محاسبه است (معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۰):

$$ILI = CARL/UARL \quad (6)$$

نهایی نشت یابی فعال و ارزش آب هدر رفته با یکدیگر برابر باشد.

$$EIF = \sqrt{\left( 0.798 \times \frac{CI}{CV \times RR} \right)} \quad (1)$$

که EIF: فاصله زمانی اقتصادی بین عملیات نشت یابی، RR: نرخ افزایش نشت (مترمکعب / روز در سال)، CI: هزینه نشت یابی (ریال) و CV: هزینه نهایی آب (ریال / مترمکعب) هستند.

$$EP (\%) = 100 \times \frac{12}{EIF} \quad (2)$$

که EP: مقدار درصد اقتصادی از سیستم آبرسانی است که باید سالانه پایش شود و EIF: فاصله زمانی اقتصادی بین عملیات نشت یابی است.

$$ABI (\text{ریال}) = EP (\%) \times CI \quad (3)$$

که ABI: بودجه سالانه برای عملیات نشت یابی (بدون هزینه های تعمیر)، EP: مقدار درصد اقتصادی از سیستم آبرسانی که باید سالانه پایش شود و CI: هزینه نشت یابی (ریال) هستند.

$$EURL (m^3) = ABI / CV \quad (4)$$

که EURL: سطح اقتصادی هدررفت واقعی گزارش نشده، ABI: بودجه سالانه برای عملیات نشت یابی و CV: هزینه نهایی آب (ریال) هستند.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- پنج مارکینگ آب بدون درآمد در آبفای استان اصفهان

در استان اصفهان پنج مارکینگ با تعیین شاخص های هدررفت واقعی اجتناب ناپذیر (UARL) و شاخص نشت زیربنایی (ILI)

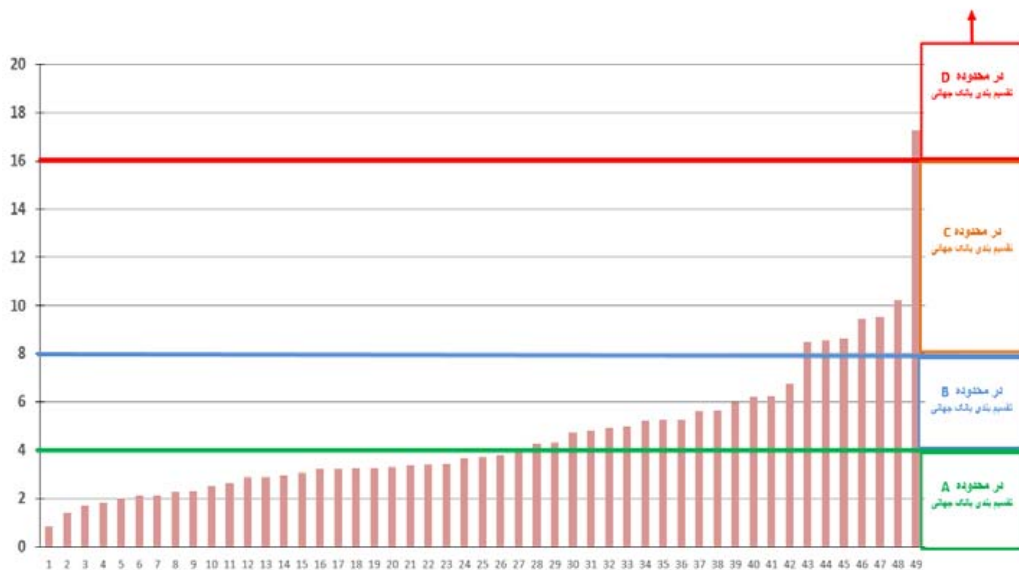
که *CARL*: مقدار سالانه هدررفت واقعی است. این پارامتر در محاسبه شاخص *ILI* از جدول بالانس سالانه هرکدام از شهرها استخراج شد. در شکل ۳ شاخص *ILI* برای ۴۹ شهر استان اصفهان ارائه شده است.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد طبق توصیه *IWA* در بررسی فنی آب بدون درآمد از شاخص درصد نباید به هیچ عنوان استفاده کرد. زیرا میزان آب بدون درآمد وابستگی بسیار زیادی به شرایط فیزیکی شبکه دارد. در آبفای اصفهان برای ۴۹ شهری که شاخص *ILI* برای آن‌ها محاسبه شده بود بررسی اجمالی بین شاخص *ILI* و درصد *NRW* انجام گرفت که در نمودار شکل ۴ این مقایسه برای تعدادی از شهرهای مذکور ارائه شده است. به‌طور کلی می‌توان گفت که شاخص *ILI* و درصد *NRW* از یکدیگر تبعیت نمی‌کنند، اگرچه در تعداد محدودی از شهرها تا حدی این تبعیت به چشم می‌آید ولی در شهری که درصد *NRW* حدود ۳۰ درصد و تصور می‌شود که آب بدون درآمد بالایی دارد، مقدار *ILI* برابر ۲/۱ (محدوده A) محاسبه شده که طبق دسته‌بندی بانک جهانی شرایط نسبی خوبی دارد. عکس این قضیه هم وجود دارد. در شهری که آب بدون درآمد ۲۰ درصد بوده و به‌نظر می‌رسد که شرایط نسبتاً خوبی دارد، مقدار *ILI* برابر ۱۷/۲ (محدوده D) محاسبه شده که طبق جدول ۳ در شرایط اولویت‌دار برای اقدامات کاهش آب بدون درآمد باید قرار می‌گیرد. همان‌طور که گفته شد پنج‌مارکینگ آب بدون درآمد در

آبفای اصفهان با محاسبه شاخص‌ها آغاز شد. *UARL* محاسبه شده برای شهرها نشان داد که بخشی از هدررفت که به شرایط فیزیکی شبکه بستگی دارد غیرقابل اجتناب است، لیکن همین میزان هدررفت با مدیریت فشار و کاهش فشارهای بالا در شبکه قابل کاهش است. از طرف دیگر، با محاسبه *ILI* امکان مقایسه وضعیت نشت با معیارهای ارائه شده توسط بانک جهانی ایجاد شد. طبق الگوی ارائه شده توسط بانک جهانی بیش از نیمی از شهرهای بررسی شده در وضعیتی قرار دارند که اقدامات کاهش هدررفت ممکن است اقتصادی به‌نظر نیاید (محدوده A جدول ۳)، لیکن با توجه به شرایط بحران آب لازم است با برآورد اقتصادی، بازه زمانی اقدامات کاهش هدررفت (به‌عنوان مثال نشت‌یابی) انجام پذیرد. به‌همین ترتیب شهرهایی که در محدوده‌های B و C قرار گرفته‌اند نیاز به توجه بیشتر و اقدامات وسیع‌تر دارند. لیکن شهری که در محدوده D واقع شده باید در اولویت استان قرار گیرد و تمامی فعالیت‌های کاهش هدررفت به‌طور جدی و پیوسته در آن شهر صورت پذیرد.

### ۳-۲- سطح اقتصادی نشت

در ادامه پنج‌مارکینگ در آبفای استان اصفهان، نشت‌یابی فعال به‌عنوان یک اقدام کاهش هدررفت واقعی آغاز شده است، اگرچه با توجه به گستردگی استان و تعدد شهرهای تحت پوشش، این اقدام به‌کندی انجام می‌گیرد و در حال حاضر تنها برای تعداد بسیار محدودی از شهرها انجام پذیرفته است.



شکل ۳- شاخص *ILI* شبکه توزیع آب تعدادی از شهرهای استان اصفهان در سال ۱۳۹۵

یک بازه زمانی حداقل یک‌ساله و اندازه‌گیری مجدد جریان شبانه است، این پارامتر به صورت تخمینی لحاظ شد. برای تخمین این پارامتر از آمار نشتی‌های شناسایی شده در طی عملیات نشت‌یابی استفاده و فرض می‌شود که نیمی از این نشتی‌ها مجدداً در طی بازه زمانی مورد نظر رخ خواهند داد. با احتساب هزینه نشت‌یابی (CI) در این شهر برابر ۱۹۲۶۰۰۰۰۰ ریال و هزینه تمام شده آب (CV) برابر ۱۳۴۰۵ ریال برای هر مترمکعب آب، محاسبات مقدار اقتصادی هدررفت واقعی، طبق روابط ۱ تا ۴، به ترتیب زیر انجام گرفت:

$$EIF = \sqrt{\left(0.798 \times \frac{192600000}{13405 \times 116.6}\right)} = 9.9 \cong 10 \text{ ماه}$$

$$EP = 100 \times \frac{12}{10} = 120 \%$$

$$ABI = 1.2 \times 192600000 = 231120000 \text{ ریال}$$

$$EURL (m^3) = \frac{231120000}{13405} = 17241 m^3$$

$20/14 m^3/h$  = جریان شبانه اندازه‌گیری شده بعد از عملیات نشت‌یابی

$25 m^3/h$  = جریان شبانه تخمین زده شده (بر اساس نشتی‌های رفع شده) بعد از یک سال

$$116/6 (m^3/day) = 4/86 (m^3/h) = \text{افزایش جریان شبانه}$$

$$(RR) = 116/6 (m^3/day/year) = \text{نرخ افزایش نشت}$$

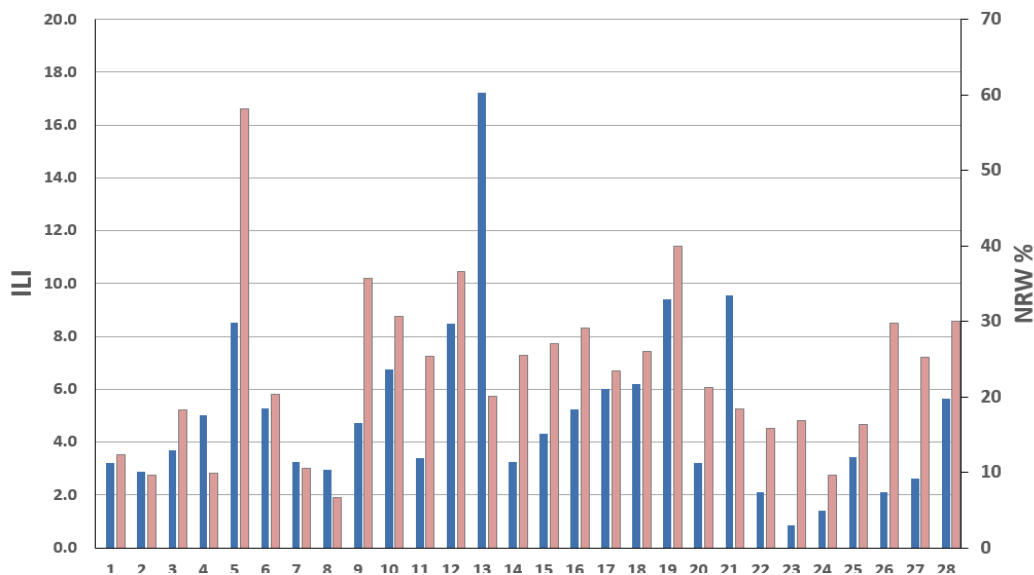
بدین منظور محاسبه سطح اقتصادی نشت نیز در دست انجام است. با توجه به نوپا بودن این مطالعات، برخی از موارد لازم برای محاسبات در طی زمان و با مانیتورینگ پیوسته و اقدامات مداخله‌ای باید استحصال شود. در ادامه این مقاله به محاسبات سطح اقتصادی نشت‌یابی فعال که در آبفای استان اصفهان در دست انجام است پرداخته می‌شود.

برای محاسبه سطح اقتصادی نشت باید اقدامات زیر صورت پذیرد:

- انجام عملیات نشت‌یابی شهر یا زون به‌طور کامل
- اندازه‌گیری جریان شبانه بلافاصله بعد از اتمام عملیات نشت‌یابی
- رصد کردن جریان شبانه به‌طور مداوم و یا حداقل در بازه‌های زمانی خاص
- محاسبه نرخ افزایش نشت‌های گزارش نشده (افزایش جریان شبانه)

- محاسبه سطح اقتصادی هدررفت واقعی

گام‌های فوق برای یکی از شهرهای استان اصفهان انجام گرفت. بعد از عملیات نشت‌یابی کل شهر برفانبار، واقع در منطقه فریدون‌شهر، که در طی آن چندین فقره نشتی روی خطوط شبکه و انشعاب شناسایی و تعمیر شد، اندازه‌گیری جریان شبانه انجام شد. از آنجا که این فرایند تازه آغاز شده است و برای محاسبه نرخ افزایش نشت (RR) نیاز به گذشت



شکل ۴- مقایسه وضعیت شاخص ILI و درصد NRW شبکه توزیع آب تعدادی از شهرهای استان اصفهان در سال ۱۳۹۵



با توجه به محاسبات فوق مقدار اقتصادی هدررفت واقعی در شهر مذکور و با متوسط فشار موجود برابر ۱۷۲۴۱ مترمکعب است که می‌تواند به‌عنوان هدف در این شهر در نظر گرفته داده شود. مقادیر هدررفت اجتناب‌ناپذیر، هدررفت اقتصادی و هدررفت موجود در این شهر به‌صورت شماتیک در شکل ۵ مشاهده می‌شود. مقدار هدررفت واقعی این شهر در سال هفتم برابر مقدار هدررفت واقعی اقتصادی بوده است و با وجود شاخص ILI برابر ۱۰ این شهر طبق جدول طبقه‌بندی ارائه شده از سوی بانک جهانی، لازم است که اقدامات کاهش هدررفت واقعی در این شهر توسعه یابد. ضمن آن‌که عملیات نشت‌یابی باید در فاصله‌های ۱۰ ماهه انجام پذیرد، اقدامات دیگر همچون مدیریت فشار، بهبود وضعیت و کاهش زمان رفع حوادث، اصلاح لوله‌های شبکه، بررسی وضعیت نشت و سرریز مخازن در دستور کار قرار می‌گیرد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

بنج مارکینگ آب بدون درآمد برای کلیه ۹۳ شهر تحت پوشش آبفا اصفهان با محاسبه شاخص ILI آغاز شده و تلاش شد که تمامی پارامترها مقادیر واقعی و مستند باشند. لیکن فقدان یا عدم قطعیت یکی از پارامترهای فشار متوسط شبکه، طول



شکل ۵- مقادیر نشت اجتناب‌ناپذیر، سطح اقتصادی نشت و مقدار نشت سالانه موجود در شهر برف‌انبار در منطقه فریدون‌شهر استان اصفهان در سال ۱۳۹۵

متوسط انشعاب، طول کل شبکه و یا عدم انتخاب نقطه میانگین ناحیه (AZP) به‌عنوان محل نصب فشارسنجی، سبب شد که تنها برای ۴۹ شهر استان این شاخص محاسبه شود. بررسی اجمالی بین شاخص ILI و درصد NRW نشان داد که شاخص ILI و درصد NRW از یکدیگر تبعیت نمی‌کنند و طبق توصیه

IWA، در بررسی فنی آب بدون درآمد از شاخص درصد به هیچ عنوان نباید استفاده شود، زیرا میزان آب بدون درآمد وابستگی بسیار زیادی به شرایط فیزیکی شبکه دارد.

طبق الگوی ارائه شده توسط بانک جهانی بیش از نیمی از شهرهای بررسی شده در وضعیتی قرار دارند که اقدامات کاهش هدررفت ممکن است اقتصادی به‌نظر نرسد (محدوده A جدول ۳)، لیکن با توجه به شرایط بحران آب لازم است با برآورد اقتصادی، اقدامات کاهش هدررفت (به‌عنوان مثال محاسبه بازه زمانی نشت‌یابی فعال) انجام پذیرد. به‌همین ترتیب شهرهایی که در محدوده‌های B و C قرار گرفته‌اند نیاز به توجه بیشتر و اقدامات وسیع‌تر دارند. لیکن شهری که در محدوده D واقع شده باید در اولویت استان قرار گیرد و تمامی فعالیت‌های کاهش هدر رفت به‌طور جدی و پیوسته در آن شهر صورت پذیرد.

در ادامه بنج مارکینگ در آبفای استان اصفهان، نشت‌یابی فعال به‌عنوان یک اقدام کاهش هدررفت واقعی آغاز شده است لیکن آنچه که برای تمامی شهرها و از جمله شهرهای محدوده A باید انجام شود تعیین سطح اقتصادی نشت است که برای یکی از شهرهای تحت پوشش آبفا استان اصفهان انجام شد. بعد از عملیات نشت‌یابی کل شهر برف‌انبار، واقع در منطقه فریدون‌شهر، که در طی آن چندین فقره نشتی روی خطوط شبکه و انشعاب شناسایی و تعمیر شد، اندازه‌گیری جریان شبانه انجام و سپس با استفاده از روابط ۱، ۲، ۳ و ۴ مقدار اقتصادی نشت برابر ۱۷۲۴۱ مترمکعب در سال و فاصله زمانی بین دو نشت‌یابی فعال در این شهر ۱۰ ماه محاسبه شد. طبق جدول طبقه‌بندی ارائه شده از سوی بانک جهانی، با وجود شاخص ILI برابر ۱۰ در این شهر، لازم است که اقدامات کاهش هدررفت واقعی در این شهر توسعه یابد. ضمن آن‌که عملیات نشت‌یابی باید در فاصله‌های ۱۰ ماهه انجام پذیرد، اقدامات دیگر همچون مدیریت فشار، بهبود وضعیت و کاهش زمان رفع حوادث، اصلاح لوله‌های شبکه، بررسی وضعیت نشت و سرریز مخازن باید در دستور کار قرار گیرد.

#### ۵- مراجع

معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۰)، "راهنمای شناخت و بررسی عوامل موثر در آب به حساب نیامده و

راهکارهای کاهش آن»، نشریه ۵۵۶ (نشریه ۳۰۸-الف، طرح استانداردهای وزارت نیرو).

Fanner, P., and Lambert, A., (2009), "Calculating SRELL with pressure management, active leakage control and leak run-time options, with confidence limits", *IWA International Conference, Water Loss 2009*, Rethymno, London, 373-380.

Fantozzi, M., and Lambert, A., (2008), "Recent developments in predicting the benefits and payback periods of introducing different pressure management options into a zone or small distribution system", *Second International Conference on Water Loss Management, Telemetry and SCADA in Water Distribution Systems*, Ohrid, Macedonia.

Kanakoudis, V. and Gonelas, K., (2016), "Analysis and calculation of the short and long run economic leakage level in a water distribution system", *Journal of Water Utility*, 12, 57-66.

Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., Kovac, J., Rizzo, A., and Galea St John, S., (2014), "14 years experience of using IWA best practice water balance and water loss performance indicators in Europe", *Water Loss 2014 Symposium*, Vienna, Austria, 30 March - 2 April.

Lambert, A., and Taylor, R., (2010), *Water loss guidelines*, Water New Zealand, New Zealand Water and Wastewater Association, Vienna, Austria.

Lambert, A., and Lalonde, A., (2005), "Using practical predictions of economic intervention frequency to calculate short-run economic leakage level, with or without pressure management", *Leakage 2005 Conference*, Halifax, Canada.

Lambert, A., and Fantozzi, M., (2005), "Recent advances in calculating economic intervention frequency for active leakage control, and implications for calculation of economic leakage levels", *IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance*, Rethymno, Greece, 8-10 July.