



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



تعیین شاخص نشت اقتصادی برای شبکه آب شهرهای سقز، بانه، بیجار و سنندج در استان کردستان

جمشید زمانی

کارشناس عمران، مدیر دفتر مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد، شرکت آب و فاضلاب شهری استان کردستان

علی پرهیز کار

کارشناس ارشد عمران محیط زیست، رییس هیئت مدیره شرکت مهندسین مشاور سپینتارح محمد فرهاد

کارشناس عمران، معاونت بهره‌برداری، شرکت آب و فاضلاب شهری استان کردستان
ناهید فاضل

کارشناس عمران آب و فاضلاب، کارشناس دفتر مدیریت مصرف و کاهش آب بدون درآمد، شرکت آب و فاضلاب شهری استان کردستان

خلاصه

با توجه به محدودیت شدید منابع آبی کشور اهمیت بحث آب بدون درآمد محرز می‌باشد. نشت در سامانه‌های آبرسانی یکی از اجزای اصلی آب بدون درآمد است که با جلوگیری از آن می‌توان آب بدون درآمد را کاهش داد. میزان این نشت در شبکه را می‌توان از طریق اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه بدست آورد. یکی از مباحث مهم در نشت، شاخص اقتصادی نشت می‌باشد که با استفاده از آن می‌توان شبکه آب شهرهای مختلف را با هم مقایسه نمود. مطالعات میدانی این تحقیق در شهرهای سقز، بانه، بیجار و سنندج در استان کردستان انجام شده است که در آن ابتدا با استفاده از اندازه‌گیری حداقل دبی شبانه، مقدار نشت قابل کشف برای هر چهار شهر بدست آمده است. سپس برای هر کدام از شهرها انواع شاخص‌های عملکرد محاسبه و با هم مقایسه شده‌اند. که شبکه سنندج با بیشترین مقدار نشت قابل کشف دارای بیشترین کارایی اقتصادی می‌باشد. و شبکه بیجار با کمترین مقدار نشت در رنج حداقل قرار دارد.

کلمات کلیدی: نشت، حداقل جریان شبانه، شاخص اقتصادی



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



۱- مقدمه

محدودیت شدید منابع تجدیدپذیر آب در کشور و وضعیت موجود آن، مدیریت تقاضا و اصلاح الگوی مصرف را بیش از پیش ضروری ساخته است. از مهمترین روش‌های اصلاح الگوی مصرف، کاهش آب بدون درآمد بوده که یکی از اجزاء اصلی آن تلفات آب در سامانه‌های شهری و روستایی می‌باشد. میزان این نشت در شبکه را می‌توان از طریق اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه بدست آورد. با محاسبه و بررسی نشت در سامانه، توسط شاخص‌ها و معیارها (شاخص عملکرد)، و در نهایت مقایسه آن‌ها می‌توان به هدف کار که کاهش آب بدون درآمد است رسید. لذا در این تحقیق هدف، اندازه‌گیری انواع شاخص‌های عملکرد برای شهرهای سقز، بانه، بیجار و سنندج و مقایسه آن‌ها می‌باشد. طبق تعریف بانک جهانی، آب بدون درآمد عبارت است از تفاوت بین حجم خالص آبی که به شبکه وارد می‌شود و حجم خالص آبی که به مصرف می‌رسد. آب بدون درآمد در یک نگاه به دو دسته کلی زیر تقسیم می‌شود:

آب بدون درآمد غیر فیزیکی یا تلفات ظاهری که به دلیل خطای انسانی، ابزار اندازه‌گیری و یا خطای مدیریت و راهبری سامانه، آب مصرف شده دقیقاً اندازه‌گیری نشده و هزینه آن بوسیله شرکت آب و فاضلاب وصول نشده است.

آب بدون درآمد فیزیکی یا تلفات واقعی که ناشی از فرار فیزیکی آب از شبکه توزیع و انشعابات مشترکین بوده و طیف گسترده‌ای از تلفات آب در شبکه را شامل می‌شود، که در اصطلاح به آن نشت می‌گوییم. نشت آب از طریق سوراخ‌ها و ترک‌های کوچک و بزرگ و یا شکستگی لوله‌ها، انشعابات، شیرآلات و اتصالات شبکه روی می‌دهد [۱].

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- نشت

برای اندازه‌گیری آب بدون درآمد فیزیکی (نشت در زمان حداقل جریان شبانه) در یک شبکه توزیع آب می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد.

$$L_{MNF} = MNF - NU \quad (1)$$

که در آن NU مصرف شبانه عادی، MNF دبی اندازه‌گیری شده در زمان حداقل جریان شبانه و LMNF نشت در زمان حداقل مصرف جریان شبانه می‌باشد. که این مقدار نشت شامل نشت زمینه و تلفات ناشی از شکستگی‌ها می‌باشد [۱].

۲-۲- حداقل جریان شبانه (MNF)

میزان جریان اندازه‌گیری شده در یک منطقه یا شبکه مجزا شده در هنگام شب و در زمان حداقل مصرف مشترکین را حداقل جریان شبانه می‌نامند. مخازن هر کدام از شهرهای مورد مطالعه در طول چندین شب متوالی قرائت شده و نتایج آن پس از تجزیه و تحلیل در جدول ۲ آمده است [۱].



شرکت آب و فاضلاب کوز، پردیس بین‌المللی شهید باهنر

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



۳-۲- مصرف شبانه (NU)

مصرف شبانه را معمولاً نمی‌توان به دقت اندازه‌گیری کرد ولی می‌توان بر پایه استانداردها و تحقیقات صورت گرفته آن را برآورد نمود. یکی از راه‌های محاسبه مصرف شبانه تقسیم آن به سه مؤلفه زیر است [۱].

$$NU = NDNU + SNNU + LU \quad (2)$$

که در آن NDNU مصرف شبانه خانگی عادی، SNNU مصرف شبانه غیر خانگی کوچک، LU مصرف کنندگان غیر خانگی بزرگ و NU مصرف شبانه عادی می‌باشد.

۳-۳-۱- مصرف شبانه خانگی عادی (NDNU)

نشان دهنده آب مصرف شده در اشتراک‌های خانگی در طول شب است که بر اساس تحقیقات انجام شده حدوداً بیش‌تر از ۶٪ جمعیت در طول شب فعال نیستند و هر مشترک، آبی در حدود ۱۰ لیتر بر نفر ساعت مصرف می‌کند. بنابراین مصرف شبانه خانگی به سادگی از جمعیت فعال در شب و متوسط مصرف هر نفر در هر ساعت در طول شب قابل محاسبه می‌باشد [۲].

نتایج محاسبات مصرف شبانه عادی در جدول ۱ ذکر شده است [۳].

۳-۳-۲- مصرف شبانه غیر خانگی کوچک (SNNU)

ارزیابی این نوع مصرف، کار مشکل‌تری است، زیرا به دامنه وسیعی از انواع فعالیت‌های تجاری، اقتصادی و ... که در منطقه در حال انجام است بستگی دارد، که این کار در زمان اندازه‌گیری حداقل جریان شبانه تقریباً کاری غیر عملی است. بر اساس تحقیقات محلی در مناطق نمونه، این مصرف کنندگان را در گروه‌های مختلفی متمرکز کرده و میزان مصرف شبانه خاصی را برای هر گروه فرض می‌کنیم [۴]. نتیجه این محاسبات در جدول ۱ آمده است [۳].

۳-۳-۳- مصرف کنندگان غیر خانگی بزرگ (LU)

در یک شهر ممکن است یک یا چند مصرف کننده بزرگ آب وجود داشته باشد که مصارف آنها تحلیل جریان شبانه را متأثر می‌سازد در این گونه موارد لازم است که مقدار مصرف هر مصرف کننده به صورت مجزا اندازه‌گیری شود. از جمله این مصرف کنندگان می‌توان به فرودگاه‌ها، هتل‌های بزرگ، بیمارستان‌ها و پادگان‌ها اشاره کرد که معمولاً مصرف آن‌ها بیشتر از ۵۰۰ لیتر بر ساعت می‌باشد. در این تحقیق بر اساس آمار کنتور خوانی شرکت آب و فاضلاب، مشترکین پر مصرف شناسایی شدند و همزمان با قرائت کنتور مخازن، کنتور این مشترکین قرائت شدند [۱]. نتایج پس از محاسبات در جدول ۱ آمده است [۳].



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



جدول ۱: نتایج محاسبه مصرف شبانه

نام شهر / نام پارامتر	سقز	بانه	بیجار	سندج
NDNU (l/s)	۲۴/۱۶	۱۶/۳	۸/۰۵	۶۰/۸۳
SNNU (l/s)	۱/۴۷	۰/۵۸	۰/۴۱۶	۱۰
LU (l/s)	۷/۳۶	۱/۰۲	۱/۱۱	۲۸/۴۲
NU (l/s)	۳۲/۹۹	۱۷/۹	۹/۵۷	۹۹/۲۵

۲-۴- محاسبه متوسط نشت شبکه

لازم به ذکر است که این مقدار نشت شامل نشت زمینه و تلفات ناشی از شکستگی‌ها نیز می‌باشد. از آنجا که در زمان حداقل جریان شبانه، شبکه کمترین میزان مصرف و به تبع آن بیشترین میزان فشار را دارد با توجه به رابطه فشار - نشت کاملاً مشخص است که نشت در این زمان خاص حداکثر مقدار ممکن نشت در طی شبانه‌روز می‌باشد. جهت محاسبه نشت متوسط از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$L_{ave} = L_{mnf} \left(P_{ave} / P_{mnf} \right)^N \quad (۳)$$

که در آن L_{ave} نشت متوسط، L_{mnf} نشت در زمان حداقل جریان شبانه، P_{ave} فشار متوسط شبکه، P_{mnf} فشار در زمان حداقل جریان شبانه و N توان فشار در شبکه که معمولاً یک در نظر گرفته می‌شود [۱] با استفاده از روابط ذکر شده نشت متوسط در شبکه محاسبه شده است و در جدول ۲ آمده است [۳].

۲-۴-۱- نشت غیر قابل اجتناب (نشت زمینه)

تقریباً تمامی هدر رفت از اتصالات روی لوله‌های فرعی و اصلی و نشت از منافذ ریز، در طبقه‌بندی نشت زمینه قرار دارد. تلفات زمینه، نشت تجمعی از تمام سوراخ‌های نسبتاً کوچک و تراوش‌هایی است که بده آنها کمتر از بده آستانه بین شکستگی و نشت زمینه می‌باشد. عموماً پیدا کردن و تعمیر این نشت‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و با نوسازی و بازسازی لوله‌ها و سایر تأسیسات وابسته از بین خواهند رفت. نشت زمینه به صورت کلی به سه دسته تقسیم می‌شود.

نشت زمینه از خطوط اصلی و فرعی

نشت زمینه از انشعابات



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



نشت زمینه از شبکه داخلی مشترک

محاسبه میزان نشت زمینه در یک شبکه توزیع آب به علت نامرئی بودن آنها کار دشواری است. با استفاده از تحقیقات انجام گرفته قبلی می توان مقدار نشت زمینه را مشخص نمود [۴].
برای هر کدام از شهرها مقدار نشت زمینه در خطوط اصلی و انشعابات محاسبه شده و پس از تجزیه و تحلیل نتیجه در جدول ۲ آمده است [۳].

۲-۴-۲- نشت قابل کشف

نشت قابل کشف از رابطه (۴) بدست می آید. این مقدار نشت ناشی از شکستگی ها می باشد که می توان از طریق نشت یابی آن را رفع کرد. مقدار این نشت برای شهرهای مختلف در جدول (۲) آمده است. [۳].
نشت زمینه - نشت متوسط = نشت قابل کشف (۴)

جدول ۲: محاسبه نشت قابل کشف

سنندج	بیجار	بانه	سقز	نام شهر نام پارامتر
۷۲۸	۱۰۰	۱۴۸	۲۲۷	MNF(1/s)
۹۹/۲۵	۹/۵۷	۱۷/۹	۳۲/۹۹	NU(1/s)
۶۲۸/۷۵	۹۰/۴۳	۱۳۰/۱	۱۹۴/۰۱	L _{MNF}
۴۸۷	۶۷	۹۰/۱۶	۱۴۶/۶	L _(ave)
۸۱/۶۵	۸/۷۷	۱۰/۸۵	۲۲/۲۵	نشت زمینه (1/s)
۴۰۵/۳۵	۵۸/۲۳	۷۹/۳۱	۱۲۴/۳۵	نشت قابل کشف

۲-۵- ارزیابی سرمایه گذاری در زمینه کاهش نشت :

شاخص های عملکرد برای ارزیابی شبکه های توزیع آب، مقایسه عملکرد شبکه ها با یکدیگر و یا تعیین یک هدف اقتصادی برای سرمایه گذاری در زمینه کاهش نشت به کار می رود.
شش عامل محلی مهم که بر روی تلفات حقیقی آب و در نتیجه بر روی شاخص عملکرد نشت در یک سامانه اثرگذار می باشند در زیر بیان شده است.
تداوم تأمین آب
طول خطوط اصلی



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدر رفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management



۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

تعداد انشعابات مشترکین
موقعیت کنتور مشترکین بر روی انشعابات
فشار متوسط شبکه
نوع خاک و زمین منطقه
یک شاخص عملکرد خوب، شاخصی است که بتواند تعداد بیشتری از این عوامل را در خود جای دهد. IWA شاخص عملکرد را به ۳ سطح تقسیم می کند [۱].

۲-۵-۱- شاخص عملکرد پایه سنتی

اولین رده از شاخص ها را شامل می شود و یک دید کلی از کارآمدی و سودمندی کنترل نشت ایجاد می کند.

شاخص عملکرد مرسوم برای نشت عبارتند از:

حجم تلفات بر حسب درصد حجم آب ورودی به منطقه

حجم تلفات بر طول خط اصلی در واحد زمان

حجم تلفات بر تعداد مشترکین در واحد زمان

حجم تلفات بر طول لوله ها در واحد زمان

تغییر در میزان مصرف، میزان نشت بیان شده به صورت درصد را تحت تأثیر قرار می دهد این شاخص عملکرد عوامل محلی متأثر در نشت را مورد استفاده قرار نمی دهد لذا این شاخص برای ارزیابی کارایی مدیریت نشت در شبکه های توزیع آب مناسب نمی باشد [۱]. در جدول ۳ نتایج محاسبات شاخص های عملکرد بر پایه سنتی در شرایط زیربنایی متوسط برای شهرهای مختلف آمده است [۳].

جدول ۳: نتایج محاسبات شاخص های عملکرد پایه سنتی

سنندج	بیجار	بانه	سقز	نام شهر / نام پارامتر
۲۱	۴۶	۲۷	۲۶	نسبت حجم تلفات به حجم آب ورودی
۳۰	۳۵	۳۶	۲۷	حجم تلفات بر طول لوله ها بر واحد زمان (متر مکعب به روز بر کیلومتر طول لوله اصلی)
۲۲	۲۳	۲۰	۱۵	حجم تلفات بر طول کل لوله ها بر واحد زمان (متر مکعب به روز بر کیلومتر طول کل لوله ها)



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



۲-۵-۲- شاخص عملکرد فنی (TIRL) (Technical Indicator Real LOSS)

مربوط به شاخص‌های اضافی است که دید بیشتری نسبت به شاخص‌های سطح یک فراهم می‌کنند و برای بهره‌بردارانی که احتیاج به شناخت عمیق‌تری دارند مناسب می‌باشد. از آنجا که قسمت عمده نشت و شکستگی‌ها در یک شبکه در انشعابات رخ می‌دهد، این شاخص بر حسب مقدار نشت بر تعداد انشعاب در روز تعریف می‌شود. این شاخص هنوز نتوانسته است تعدادی از عوامل محلی را در خود جای دهد که این موضوع به عنوان نقطه ضعف این شاخص می‌باشد [۱]. برای شهرهای این تحقیق شاخص عملکرد فنی در شرایط زیربنایی متوسط محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۴ آمده است [۳].

جدول ۴: شاخص عملکرد فنی (TIRL)

سنندج	بیجار	بانه	سقز	نام شهر	نام پارامتر
۲۳۵	۳۹۰	۲۶۴	۲۰۶		TIRL لیتر بر تعداد انشعابات در روز

۲-۵-۳- شاخص عملکرد زیر ساخت (ILI) (Infrastructure Leakage Index)

یک ارزیابی جامع از وضعیت شبکه را نشان می‌دهد همه شاخص‌های این رده مربوط به سطوح عالی مدیریتی می‌شوند. این شاخص‌ها عوامل محیطی بیشتری را در خود می‌گنجانند و از این لحاظ دقیق‌تر می‌باشند. شاخص نشت زیرساخت (ILI) عبارتست از: [۱].

$$ILI = CARL / UARL$$

که (CARL) نشت سالانه موجود بر اساس روش‌های ذکر شده بدست آمده است.

(Current Annual Real Losses)

و (UARL) نشت سالانه اجتناب ناپذیر بر اساس جمع بندی مطالعات انجام شده می‌توان با معادله زیر بدست آورد.

(Unavoidable Annual Real Losses)

$$UARL = (18 \times L_m + 0.8 \times NC + 25 \times L_p) \times P$$

که در آن L_m طول خط اصلی بر حسب کیلومتر، NC تعداد مشترکین، LP طول انشعاب از مرز انشعاب تا کنتور مشترک بر حسب کیلومتر و p فشار متوسط شبکه بر حسب متر می‌باشد. همچنین رابطه بین فشار و نشت به صورت خطی یعنی توان فشار برابر یک در نظر گرفته شده است.



۲-۶- هدر رفت سالانه اقتصادی (EARL) (Economic Annual Real Losses)

نشت سالانه اجتناب ناپذیر به عنوان یک هدف برای کنترل نشت در هر شبکه ای مناسب نیست چرا که باعث صرف قسمت عمده ای از سرمایه های شرکت های آب و فاضلاب برای کاهش نشت می شود بدون اینکه نرخ بازگشت سرمایه مثبتی وجود داشته باشد.

مقدار اقتصادی نشت، عددی است که در آن صرفه جویی صورت گرفته، مساوی یا بیش تر از هزینه های کنترل نشت است. با توجه به مطالب فوق یک راه برای تعیین میزان منطقی کنترل نشت استفاده از ضریبی است که نشت سالانه اجتناب ناپذیر (UARL) را به یک نسبت ثابت افزایش دهد. سطح کنترل نشت منتج شده به این شیوه همان نشت سالانه اقتصادی (EARL) است [۱].

ضریب SF به نحوه مدیریت و منابع مالی بستگی دارد. با توجه به وضعیت کشور ما از نظر منابع مالی در این تحقیق ضریب SF برابر ۵ در نظر گرفته شده است.

۲-۷- شاخص نشت اقتصادی (ELI) و کارایی اقتصادی شبکه (ENE)

شاخص نشت اقتصادی (ELI) همانند شاخص نشت زیر بنا (ILI) است با این تفاوت که عامل نشت سالانه اجتناب ناپذیر به وسیله نشت سالانه اقتصادی (EARL) جایگزین شده و به صورت زیر تعریف می شود [۱].

$$ELI = CARL / EARL \quad (\text{Economic Leakage Index}) \quad (7)$$

برای قابل فهم تر شدن این شاخص آن را بصورت درصد بیان می کنیم که این مفهوم به عنوان کارایی اقتصادی شبکه (ENE) بیان می شود [۱].

$$ENE(\%) = (1 / ELI) \times 100 \quad (\text{Economic Network Efficiency}) \quad (8)$$

در این تحقیق تمام اجزای شاخص عملکرد زیر ساخت برای تمام شهرها در شرایط زیربنایی متوسط محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۵ آمده است [۳].



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب



1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶

جدول ۵: شاخص عملکرد زیر ساخت

سنندج	بیجار	بانه	سقز	نام شهر / نام پارامتر
۴۸۷	۶۷	۹۰/۱۶	۱۴۶/۶	نشت سالانه موجود (L/s) CARL
۸۱/۶۵	۸/۷۷	۱۰/۸۵	۲۲/۲۵	نشت سالانه اجتناب ناپذیر (L/s) URAL
۵/۹	۷/۶	۸/۳	۶/۵۸	شاخص عملکرد ILI
۴۰۸/۲۵	۴۳/۸۵	۵۴/۲۵	۱۱۱/۲۵	نشت واقعی سالانه اقتصادی (L/s) EARL
۱/۱۹	۱/۵۲	۱/۶۶	۱/۳۱	شاخص نشت اقتصادی (ELI)
۸۴/۰۳	۶۵/۷۸	۶۰/۲۴	۷۶/۳۳	کارایی اقتصادی شبکه (ENE) درصد

۳- نتیجه گیری

مطالعات میدانی در چهار شهر سقز، بانه، بیجار و سنندج استان کردستان انجام شده است بر اساس این مطالعات مقدار نشت قابل کشف در هر کدام از شهرها به شرح ذیل می باشد:

سقز ۱۲۴/۳۵ (لیتر در ثانیه)
 بانه ۷۹/۳۱ (لیتر در ثانیه)
 بیجار ۵۸/۲۳ (لیتر در ثانیه)
 سنندج ۴۰۵/۳۵ (لیتر در ثانیه)

و همچنین شاخص عملکرد زیرساخت (ILI) و کارایی اقتصادی برای شبکه هر چهار شهر تعیین گردید که این اطلاعات می تواند در برنامه ریزی عملیات نشت یابی مورد استفاده قرار گیرند.

بر اساس آنها شبکه سنندج با بیشترین مقدار نشت قابل کشف دارای بیشترین کارایی اقتصادی می باشد. و شبکه بیجار با کمترین مقدار نشت در رنج حداقل قرار دارد.

۴- مراجع

۱. معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی. (۱۳۹۱)، "راهنمای شناخت و بررسی عوامل موثر در آب به حساب نیامده و راهکارهای کاهش آن (نشریه شماره ۵۵۶)"، انتشارات سازمان برنامه و بودجه. تهران، ایران

2. McKenzie, R.D.,(1999). SANFLOW, user guide. South Africa Water Research Commission, WRCReport TT109/99



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدر رفت آب

1st National Conference on
Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



۳. شرکت آب و فاضلاب شهری استان کردستان، (۱۳۹۶) "گزارش مطالعات حداقل جریان شبانه (MNF) شهرهای سنندج، بانه، سقز و بیجار"، پروژه مطالعات نشت یابی و کنترل تلفات فیزیکی شبکه آب شرب شهرهای سنندج، بانه، سقز و بیجار، (انجام شده توسط مهندسین مشاور سپینا طرح)

4. U.K. Water Industry, (1994). Managing leakage. Reports A: Summary, E: Interpreting measured night flows, F: Using night flow data, G: Managing water pressure, J: Leakage management techniques, technology and training, WRC plc/Water Service Association/Water Companies Association, Swindon, UK