تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۲۱/ شماره ۷۹/ تابستان ۱۳۹۹/ ص ۹۲-۷۳

ارتقای فرایند تعمیر و نگهداری دریچه‌های آبگیر در کانال‌های آبیاری بر اساس پایش و تحلیل وضع موجود (موردکاوی شبکهٔ آبیاری شمال بهبهان)

مرتضی دلفان‌آذری[۱] و عاطفه پرورش‌ریزی[۲*]

۱ و ۲- به‌ترتیب: کاندیدای دکتری سازه‌های آبی؛ و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران

تار یخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۵

چکیده

برنامه‌ریزی نگهداری، تعمیرات، زمان‌بندی تعمیرات و تعویض قطعات با استفاده از تحلیل‌های آماری، هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات را کاهش می‌دهد و در سطح بهینه نگه می‌دارد. همچنین به کارگیری سامانهٔ تعمیر و نگهداری می‌تواند نقش مهمی در کاهش قیمت محصولات و خدمات داشته باشد. از آنجاکه کاهش زمان پاسخگویی به تقاضای خدماتی کشاورزان و آب بران از اولویت‌های هر شرکت بهره‌برداری از شبکهٔ آبیاری است، داشتن برنامهٔ عملیاتی برای افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات موجود در شبکه و آمادگی لازم برای رفع خرابی‌های قابل پیش‌بینی با استفاده از این برنامه، نه تنها رضایت کشاورزان را در پی خواهد داشت بلکه از خرابی‌های ناگهانی و توقف عملکرد شبکه نیز می‌کاهد. در این تحقیق، بر اساس تحلیل اطلاعات شبکهٔ آبیاری بهبهان، ضمن دسته‌بندی دریچه‌ها، با استفاده از روش نگهداری و تعمیرات اصلاحی و پیشگیرانه، قابلیت اطمینان دریچه‌های تنظیم‌کنندهٔ جریان در کانال‌ها و کل شبکه محاسبه و راهکار افزایش قابلیت اطمینان استفاده از این تأسیسات و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که حفظ قابلیت اطمینان دریچه‌ها در سطح ۷۰ درصد، نسبت به حفظ آن در سطح ۵۰ درصد، نه تنها ریسک خرابی دریچه‌ها را ۲۰ درصد کاهش می‌دهد، بلکه حداقل ۲۰ درصد از هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌کاهد.

واژه‌های کلیدی

آهنگ خرابی، برنامه‌ریزی تعمیرات، مدیریت دارایی‌ها، نگهداری پیشگیرانه

مقدمه

برخلاف تأسیسات صنعتی، سازه‌های زیربنایی آبیاری و زهکشی هم پراکنده‌اند و هم در مقایسه با درآمد سازمان‌های مدیریت آبیاری، گران و پرهزینه‌اند. افزون بر آن، این دارایی‌ها (شبکهٔ کانال‌ها و سازه‌ها)، بر حسب وظیفه و نقشی که بر عهده دارند، دارای خصوصیات هیدرولیکی ویژه هستند. متولیان آبیاری و زهکشی به‌طور سنتی به مدیریت سازه‌ها توجه کمتری نشان می‌دهند. از آنجاکه متولیان آبیاری باید به جنبه‌های تجاری خدمات آبیاری و زهکشی نیز توجه کنند، ضروری است جزئیات هزینه‌هایی را که برای تأمین این خدمات پرداخت می‌شود مد نظر قرار دهند (Moorhouse, 1999). هزینه‌های دارایی‌های زیربنایی بخش عمدهٔ مخارج خدمات مدیریت را تشکیل می‌دهد. برای اینکه این خدمات به‌صورت

* نگارندهٔ مسئول: Email: parvarsh@ut.ac.ir

http://doi.10.22092/idser.2020.128597.1413

مناسب و با کمترین هزینه انجام گیرد، هر یک از دارایی‌ها[1] و تأسیسات باید بر مبنای دورهٔ دوام و عمر کاری‌اش[2] مدیریت شود (Malano *et al.*, 2005). این روش مستلزم اجرای برنامهٔ مدیریت دارایی[3] (AMP) است که خود مشتمل بر مجموعه‌ای از فعالیت‌ها شامل برنامه‌ریزی احداث، بهره‌برداری و نگهداری، پایش وضعیت و عملکرد، حسابرسی و بازسازی یا نوسازی[4] است. به برنامه‌ریزی مدیریت دارایی باید به‌عنوان یکی از اجزای برنامه‌های سازمانی در برنامه‌ریزی راهبردی سازمان‌ها نگریسته شود و به این ترتیب توجه کامل نسبت به اجرای آن ضروری است (Malano *et al.*, 1999; Van Hofwegen, 1999; Burton & Hall, 1999). با گذشت زمان و مدرن‌تر شدن شبکه‌های آبیاری و زهکشی، نیاز به مهارت‌ها و تخصص‌های لازم برای نگهداری و تعمیرات، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، قیمت تجهیزات و مصالح، و اهمیت تعمیر و نگهداری افزایش می‌یابد (Vermillion *et al.*, 2000). حجم بالای سرمایه‌گذاری در توسعهٔ شبکهٔ آبیاری و وابستگی بالای کشاورزی به فعالیت دائمی شبکهٔ آبیاری سبب می‌شود بروز اختلال در فعالیت شبکهٔ آبیاری خسارت‌های زیادی به این بخش تحمیل کند. بالا رفتن قیمت تجهیزات شبکه و ماشین‌آلات تعمیر و نگهداری، سبب افزایش اهمیت تعمیر و نگهداری نیز می‌شود (Kitamura & Nakaya, 2010). هر شبکهٔ آبیاری و زهکشی در فصل آبیاری، سیستم تولید پیوسته‌ای به شمار می‌رود و از این رو خدمات تعمیر و نگهداری در آن نقش پیچیده و انکارناپذیری دارد (Kustiani & Scott, 2012).

پایش و کنترل عملیات تعمیر و نگهداری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی هدف‌های متعددی دنبال می‌کند از جمله: استفادهٔ بهینه از ظرفیت شبکه و کاهش هزینه‌های تعمیراتی. تجهیزات در دورهٔ عمر خودبه دلایل متعدد از کار می‌افتند و فرسوده می‌شوند و لازم است به نسبت افزایش عمر دستگاه، سطح نگهداری و پشتیبانی از آنها نیز افزوده شود (Svendsen & Huppert, 2003). اقدامات نگهداری باعث افزایش عمر تجهیزات و به‌عبارت دیگر تأخیر در استهلاک و خرابی است. نگهداری و تعمیرات نقش مهمی در حفظ قابلیت اطمینان، کیفیت تولید، کاهش ریسک و افزایش بازدهی بر عهده دارند. راهبرد نگهداری و تعمیرات بهینه می‌تواند به‌طور چشمگیر هزینهٔ عملیات را کاهش دهد، تجهیزات را همواره در دسترس قرار دهد، و بهره‌وری تجهیزات را افزایش دهد (Aghasizadeh & Jahani, 2017). نگهداری و تعمیرات اصلاحی و پیشگیرانه از مهم‌ترین راهبردهای نگهداری و تعمیرات هستند که اجرای درست آنها سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش دورهٔ عمر سازه‌ها می‌شود. برای بررسی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و اصلاحی با در نظر گرفتن تأثیر فرسودگی بر قابلیت اطمینان هر نوع تجهیزات در هر سیستم، می‌توان از احتمال خرابی با تابع توزیع ویبول[5] استفاده کرد و برای بررسی خرابی بر اساس سال‌های عمر آن، از منحنی وانی شکل[6] بهره جست (Keynia, 2017). افزایش میزان عمر تجهیزات، افزایش رضایتمندی مشتریان و کاهش دیرکرد خدمات ناشی از خرابی‌های تجهیزات، از دلایل پرداختن به تعمیر و نگهداری به‌موقع است (Ahmadi & Mokhtarzadeh, 2013). هدف از طرح‌ریزی و زمان‌بندی تعمیرات پیشگیرانه، در پیش گرفتن فعالیت‌هایی است به‌منظور کاهش یا حذف توقف و حداکثر کردن قابلیت اطمینان تجهیزات. برای رسیدن به این هدف علاوه بر نیروی کار ماهر و متخصص، باید برنامهٔ زمان‌بندی تعمیرات نیز از قبل

1- Assets
2- Life cycle
3- Asset Management Plan
4- Rehabilitation
5- Weibull Distribution Function
6- Bathtub

مشخص باشد (Jafarnezhad & Esmaeilian, 2011). پایش وضعیت سازه‌ها مهم‌ترین بخش مدیریت تجهیزات و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط است (Ramezani *et al*., 2019).

تحلیل قابلیت اطمینان یکی از بهترین روش‌ها برای برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری است و عملیات تعمیر و نگهداری هر بخش عملیاتی بعد از وقوع خرابی ممکن است مدت زمان زیادی طول بکشد. بنابراین، تعیین فاصله‌های زمانی مناسب برای تعمیر و نگهداری پیشگیرانهٔ تجهیزات قبل از وقوع خرابی، اهمیت دارد. تحلیل قابلیت اطمینان، دسترسی و تعمیر برای افزایش بهره‌وری و میزان در دسترس بودن و در نتیجه به حداقل رساندن توقف‌ها و تأخیرهای برنامه‌ریزی نشده و هزینه‌های تعمیر و نگهداری، ضروری است (Amini Khoshalan *et al*., 2017).

در شرایط کنونی، نبود پیش‌بینی لازم در خصوص خرابی سازه‌ها و تعمیر و نگهداری به‌موقع آنها در اکثر شبکه‌های آبیاری، سبب کاهش عمر اجزای مختلف شبکه می‌شود که سرمایهٔ هنگفتی صرف آنها شده است. همچنین، احتیاج به تعویض سریع بعضی از قطعات یا تجهیزات موجود در شبکهٔ آبیاری که به سادگی در دسترس نیستند و قیمت آنها پیوسته در حال افزایش است، اثرهای اجتماعی ایجاد وقفه در تأمین آب و نارضایتی کشاورزان را در پی خواهد داشت. بنابراین، در وضعیت موجود که اختصاص بودجه به فعالیت‌های نگهداری در شبکه-های آبیاری در اولویت نیست، شرکت‌های بهره‌برداری مشکلات زیادی در این خصوص دارند و تعمیرات اساسی سازه‌ها و تجهیزات آبیاری کماکان بر عهده کارفرما (دولت) است، باید راهکارهایی را برای بهبود عملکرد نگهداری و تعمیرات، در عین کاهش هزینه‌ها، دنبال کرد. دارایی‌ها در هر شبکهٔ آبیاری بر حسب شرایط بهره‌برداری و نگهداری با شدت‌های متفاوتی مستهلک و از رده خارج می‌شوند. این تفاوت هم بین دارایی‌های مختلف در شبکه و هم بین دارایی‌های مشابه در شبکه‌های مختلف قابل مشاهده است. اطلاعات و آمار از تحولات شرایط و وضعیت دارایی‌ها را می‌توان از سوابق ثبت شدهٔ آنها استنتاج کرد و بر این اساس تصویری از چگونگی توزیع کیفیت آنها به‌دست آورد. از آنجا که مدیریت دارایی‌ها در شبکه‌های آبیاری مبحث نسبتاً جدیدی است، از رویکردهای موجود برای نگهداری اجزای سامانه‌ها نیز کمتر در شبکه‌های آبیاری استفاده شده است. بنابراین، در این پژوهش با استفاده از روابط و ضوابط موجود و استفاده از آمار و احتمالات، علاوه بر بررسی وضعیت تعمیر و نگهداری دریچه‌های آبگیر در شبکهٔ آبیاری بهبهان، با استفاده از سناریوهای تعمیر و نگهداری، الگوی خرابی سازه‌ها پیش‌بینی شده است. پس از آن، نتایج تحقیق برای برنامه‌ریزی و تعمیرات به‌موقع برای کاهش ریسک خرابی و کاستن از هزینه‌های تحمیلی برای سازه های مطالعه شده ارائه می‌شود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

شبکهٔ آبیاری و زهکشی بهبهان در محدودهٔ عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی قرار دارد و در سال ۱۳۶۹ به بهره‌برداری کامل رسیده است. متوسط دمای سالانه شهرستان بهبهان ۲۴/۸ درجه سلسیوس و متوسط بیشینه دمای سالانه ۳۳ درجه سلسیوس است. بهبهان منطقه‌ای است با آب و هوای استپی گرم و متوسط بارندگی سالانهٔ آن

۳۵۰ میلی‌متر است. رودخانهٔ مارون که از شرق وارد دشت بهبهان می‌شود، شبکهٔ آبیاری بهبهان را به دو ناحیهٔ شمالی و جنوبی تقسیم می‌کند. مساحت ناخالص زمین‌های زیرشبکه در ناحیهٔ جنوب ۷۴۰۰ هکتار و در ناحیهٔ شمالی ۶۶۰۰ هکتار است. در این تحقیق، وضعیت دریچه‌های موجود در مسیر کانال در شبکهٔ آبیاری شمال بهبهان در ساحل راست سد انحرافی شهدا مطالعه شده است. در شبکهٔ آبیاری بهبهان، از دریچه‌ها برای تنظیم میزان جریان آب ورودی به کانال‌ها استفاده می‌شود تا به این ترتیب سطح آب و میزان دبی عبوری با مقدار تقاضای آب‌بران هماهنگ گردد. این شبکه دارای یک کانال اصلی (با طول حدود ۲۰ کیلومتر) است که آب را به کانال‌های درجه دو، A1 تا A12 می‌رساند. با توجه به اینکه کانال‌های A1 و A5 زمین‌های بیشتری را زیر پوشش آبیاری قرار داده‌اند، بنابراین تعداد دریچه‌های آبگیری در این کانال‌ها نیز بیشتر است. هرچه به پایین‌دست شبکه نزدیک‌تر می‌شویم تعداد دریچه‌های موجود در مسیر کانال‌ها کمتر می‌شود. در جدول ۱، مشخصات کانال‌های آبیاری و در شکل ۱ نحوهٔ استقرار شبکهٔ آبیاری شمال بهبهان آمده است.

جدول ۱-مشخصات کانال‌های شبکهٔ آبیاری شمال بهبهان

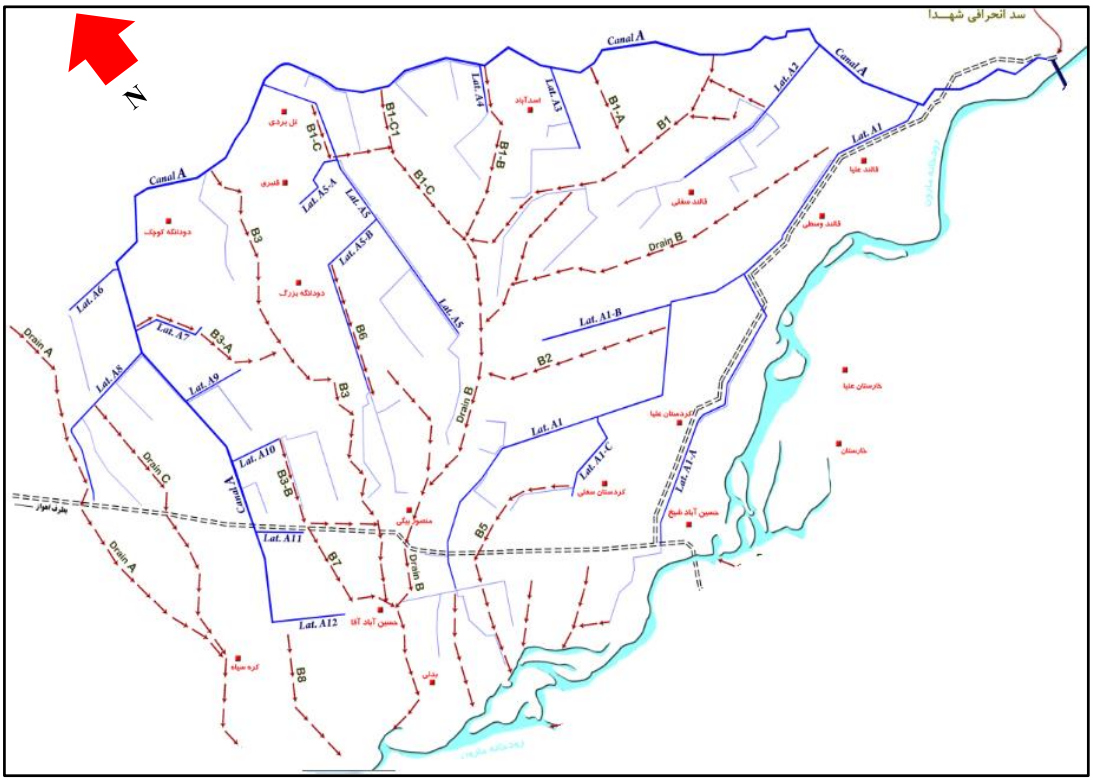
Table 1- Characteristics of canals in northern Behbahan irrigation network

نام کانال Canal Name	طول کانال (متر) Canal Length(m)	تعداد دریچه‌ها Number of Gates
A1	9625	40
A2	2450	6
A3	1661	10
A4	560	3
A5	3464	20
A6	794	2
A7	1001	2
A8	2310	4
A9	800	2
A10	702	3
A11	752	2
A12	101	2

قابلیت اطمینان (پایایی)[1]

بسیاری از مولفه‌های نگهداری و تعمیرات مانند زمان خرابی و از کار افتادگی تجهیزات، دقیق و مشخص نیستند. در واقع بسیاری از مولفه‌ها در این سامانه‌ها تصادفی هستند. اما این امکان وجود دارد که آنها را به‌صورت متغیرهای تصادفی تعریف کرد و به آنها توزیع احتمالاتی اختصاص داد (Cruse, 1997). برای محاسبهٔ قابلیت اطمینان در تعمیر و نگهداری، باید به مفاهیم آماری توجه کرد و با استفاده از روابط موجود به محاسبهٔ قابلیت اطمینان پرداخت (Hastings, 2010).

1- Reliability



شکل ۱- وضعیت و موقعیت استقرار شبکهٔ آبیاری شمال بهبهان

Fig. 1- Location of irrigation scheme of northern Behbahan

آهنگ خرابی[1]

آهنگ خرابی هر جزء، احتمال رخ دادن خرابی در بازهٔ زمانی مشخص است که قبل از آن زمان بدون خرابی بوده است و معمولاً به زمان چرخهٔ حیات آن جزء بستگی دارد. فرض می‌شود متغیر تصادفی X غیر منفی است، اگر طول عمر جزء با تابع چگالی $f_X(t)$ و تابع توزیع تجمعی با $F_X(t)$ نشان داده شود، آنگاه تابع آهنگ خرابی $\lambda_X(t)$، احتمال پیشامد جزء یا سیستم را نشان می‌دهد که تا زمان t خراب نشده باشد و در بازهٔ زمانی $\{t, t+dt\}$ خراب شود، این تابع آهنگ خرابی به‌صورت رابطهٔ ۱ نشان داده می‌شود (Billinton & Allan, 1992; Kumar *et al*., 2012; Pham, 2007).

$$\lambda_X(t) = \frac{f_X(t)}{1 - F_X(t)} \qquad (۱)$$

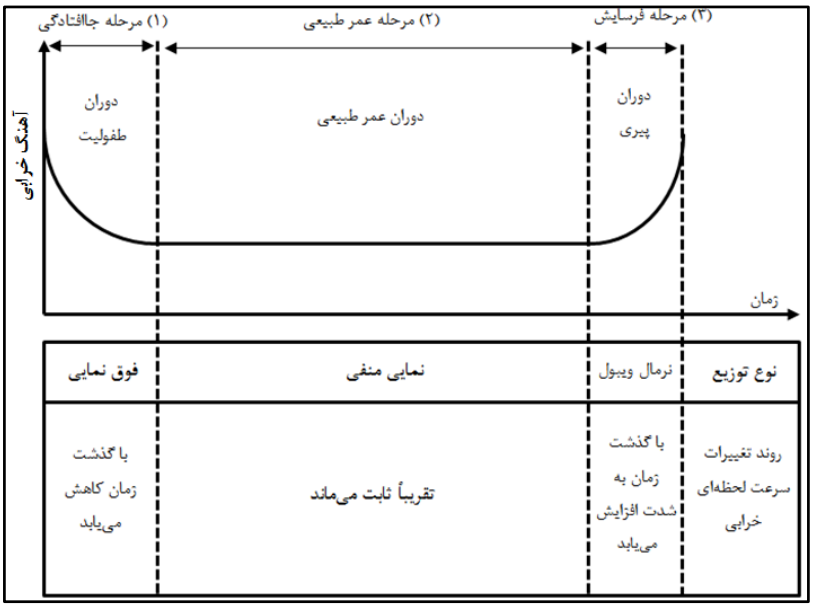
قابلیت اطمینان هر سامانه احتمال کارکرد سالم و بدون اشکال آن سامانه برای مدتی مشخص در شرایط مشخص و از پیش تعیین شده است. تابع قابلیت اطمینان بیانگر احتمال موجود برای عملکرد مطلوب هر سیستم در فاصلهٔ زمانی صفر و t است. قابلیت اطمینان، احتمال اجرای موفق فرایند یا عملیاتی مشخص (بدون خرابی) را در شرایط و زمان معین نشان می‌دهد و از رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود (Billinton & Allan, 1992; Pham, 2007; Kumar *et al*., 2012).

1- Failure Rate

$$F(t) = \int_0^t f\ (t)dt$$
$$and \qquad (۲)$$
$$R(t) = \int_t^\infty f\ (t)dt\ = 1 - F\ (t)$$

که در آن:

f(t) = تابع چگالی احتمال؛ F(t) = تابع تجمعی؛ و R(t) = تابع قابلیت اطمینان. برای محاسبهٔ تابع قابلیت اطمینان، نیاز به محاسبهٔ تابع چگالی احتمال f(t) است. هر دستگاهی بنا به شرایط کار، نحوهٔ ترکیب قطعات، فرآیند ساخت و بسیاری از عوامل دیگر ممکن است از یک تابع چگالی احتمالی پیروی کند که وابسته به عوامل و مشخصه‌های درونی و محیطی است. این توابع ممکن است مربوط باشند به مواردی مانند عمر جزء و زمان لازم برای تعمیر ماشین‌آلات. بر اساس اینکه هر جزء بر اساس منحنی وانی شکل در چه دوره‌ای از چرخه عمر خود قرار داشته باشد، توابع توزیعی که بهترین برازش را دارد پیشنهاد شده است (Rausand & Høyland, 2003; Keynia, 2017). طبق شکل ۲، منحنی دورهٔ عمر هر جزء شامل سه قسمت است که از خرابی زودرس آغاز می‌شود و به خرابی ناشی از فرسودگی پایان می‌گیرد. در خرابی زودرس، آهنگ خرابی نسبت به زمان کاهش می‌یابد. این مرحله نشانگر دورهٔ آغاز بهره‌برداری از جزء است و از آنجا که با گذشت زمان، سازگاری آن با محیط اطراف افزایش می‌یابد، آهنگ خرابی آن کاهش می‌یابد و از احتمال خرابی کاسته می‌شود. با برطرف شدن نقایص، بهره‌برداری در مرحلهٔ عمر طبیعی آغاز و روند خرابی‌ها تقریباً منظم می‌شود. بنابراین، آهنگ خرابی با گذر زمان دچار تغییر نمی‌شود. هر جزء پس از گذراندن عمر مفید خود وارد دوران فرسایش می‌شود و در این دوره، آهنگ خرابی نسبت به زمان صعودی است و بنابراین احتمال خرابی نیز افزایش می‌یابد (Moubray, 2001; Klutke *et al*., 2003; Rausand & Høyland, 2003). بنابراین، با محاسبهٔ آهنگ خرابی می‌توان دورهٔ عمر هر سازه را مشخص و بر اساس آن بهترین تابع توزیع را انتخاب کرد.



شکل ۲-منحنی دوره عمر تجهیزات بر اساس تغییرات آهنگ خرابی (Moubray, 2001)

Fig. 2- Equipments life cycle curve based on the failure rate changes (Moubray, 2001)

میانگین زمان تا خرابی[1] (MTTF)

میانگین زمان تا خرابی متوسط زمانی است که هر جزء قبل از اینکه خراب شود، کار می‌کند؛ این میانگین از رابطهٔ ۳ قابل محاسبه است (Billinton & Allan, 1992; Pham, 2007; Kumar *et al.*, 2012).

$$MTTF = \int_0^{\infty} t.f\ (t)dt \qquad (۳)$$

که در آن،

MTTF= میانگین زمان تا خرابی (ماه)؛ و t= زمان (ماه).

قابلیت اطمینان در سامانه‌های مرکب

هر سامانه شامل یک وضعیت مطلوب و یک وضعیت نامطلوب است. با فرض اینکه عملکرد مطلوب برابر یک و عملکرد نامطلوب برابر با صفر در نظر گرفته شود و اگر سامانه شامل n عنصر باشد که عملکرد عنصر i ام با متغیر x_i نشان داده شود، زمان مورد نظر با t_0 نشان داده شود در این‌صورت متغیر x_i را می‌توان به شکل رابطهٔ۴ نوشت. رابطه‌های ۴ تا ۷ در مراجع مختلفی معرفی شده‌اند (Chaudhuri *et al.*, 2001; Huang & Askin, 2003; Pham, 2007).

$$x_i = \begin{cases} 1 , & t \geq t_0 \\ 0 , & t < t_0 \end{cases} \qquad (۴)$$

عملکرد کل سامانه با یک متغیر تصادفی مانند y تعیین می‌شود که عملکرد آن در حالت مطلوب برابر یک و در حالت نامطلوب برابر صفر است و تابعی از کلیهٔ متغیرهای تصادفی x_i است و به‌صورت رابطهٔ ۵ نشان داده می‌شود.

$$y = f\ (x_1, x_2, x_3, ..., x_n) \qquad (۵)$$

کانال‌ها در شبکهٔ آبیاری به‌صورت سری یا متوالی هستند، از این رو لازم است قابلیت اطمینان در حالت اتصال سری بررسی شود که تابع عملکرد آن به‌صورت رابطهٔ ۶ است.

$$\begin{cases} y = f\ (x_1, x_2, x_3, ..., x_n) = 1 \\ if\ \rightarrow x_1 = x_2 = x_3 = ... = x_n = 1 \\ y = f\ (x_1, x_2, x_3, ..., x_n) = 0 \\ if\ \rightarrow otherwise = 0 \end{cases} \qquad (۶)$$

بنابراین می‌توان قابلیت اطمینان برای کل سامانه را از رابطهٔ ۷ محاسبه کرد.

$$R_s = R_1.R_2.R_3...R_n = \prod_{i=1}^{n} R_i \qquad (۷)$$

که در آن،

R_s= قابلیت اطمینان کل سامانه (درصد)؛ و R_i= قابلیت اطمینان زیر سامانه i ام (درصد).

سناریوهای تعمیر و نگهداری

برخی از روش‌ها و سامانه‌های تعمیر و نگهداری که طی سال‌ها ابداع و به‌کار گرفته شده‌اند عبارت‌اند از:

۱- سامانه‌های غیر برنامه‌ای- واکنشی: این سامانه که به تعمیرات اضطراری[2] (EM) نیز مشهور است، تعمیرات و رفع خرابی، در صورت وقوع خرابی تجهیزات و وقوع مشکلات، بدون برنامه ریزی قبلی را پشتیبانی می‌کند.

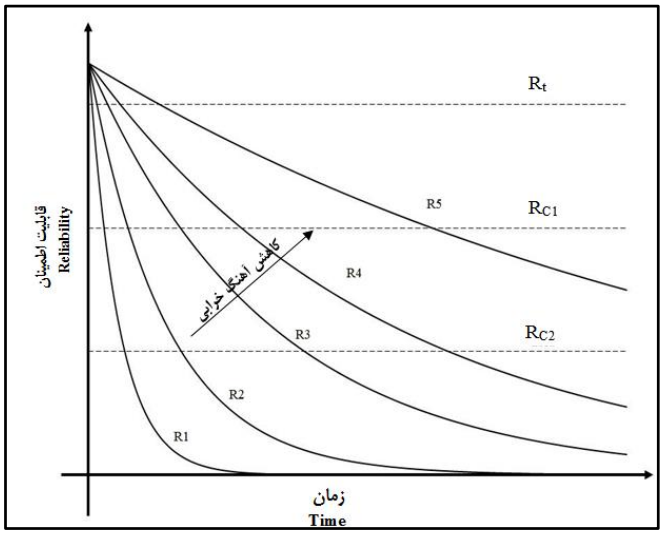
۲- سامانه‌های برنامه‌ای: در این نوع سامانه‌ها طرح و برنامه‌ای قبلی در تدوین فعالیت‌های تعمیر و نگهداری به‌کار بسته می‌شود، هدف عمدهٔ این

1- Mean Time to Failure

2- Emergency Maintenance

سامانه ها جلوگیری از تعمیرات اضطراری و توقف‌های پیش بینی نشده است.

برای بهبود وضعیت تعمیر و نگهداری باید با استفاده از روش تعمیر و نگهداری برنامه‌ای، نه تنها هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، بلکه احتمال ریسک خرابی را نیز تا حد زیادی کاهش داد. با توجه به اینکه بازرسی‌ها و تعمیرات دوره‌ای نقش مهمی در افزایش عمر سازه‌ها دارند، بنابراین در این تحقیق به‌طور کلی دو رویکرد بررسی شده است؛ فرض بر این است که می‌توان یا دفعات تعمیرات را کاهش داد و تعمیرات اساسی هم دنبال شود، یا دفعات تعمیرات را افزایش داد و تعمیرات کم‌هزینه دنبال شود. در هر دو حالت باید هزینه و ریسک خرابی بررسی شود. بنابراین، سه سناریو تعریف و بررسی شده‌اند: اول، تعمیر در زمان خرابی (کار تا خرابی[2]) و به سخنی دیگر، شرایط فعلی تعمیر و نگهداری؛ دوم قابلیت اطمینان کم؛ و سوم قابلیت اطمینان بالا. شکل ۳ نشان می‌دهد که با کاهش آهنگ خرابی، نمودارهای قابلیت اطمینان از R_1 به R_5 تغییر یا در زمانی خاص قابلیت اطمینان افزایش می‌یابد. برای بررسی وضعیت تعمیر و نگهداری تجهیزات می‌توان دو سطح فرضی R_{C1} (قابلیت اطمینان کم) و R_{C2} (قابلیت اطمینان بالا) را نسبت به R_t (قابلیت اطمینان هدف) در نظر گرفت.



شکل ۳- تغییرات قابلیت اطمینان با آهنگ خرابی (منبع: تحقیق حاضر)

Fig. 3- The variations of reliabilirty changes with failure rates (Reference: Present research)

سناریوی اول: تعمیر در زمان خرابی (کار تا خرابی) (S1)

در این سناریو، با توجه به اینکه رفتار دریچه‌ها بر اساس آمار تعمیر و نگهداری آنها کنترل و ارزیابی نمی‌شود، در هر زمان ممکن است وضعیت دریچه به "قابلیت اطمینان پایین و در حد خرابی" رسیده باشد و فاقد عملکرد مطلوب باشد. در این‌صورت هدف تعمیر و نگهداری صرفاً بازگرداندن دریچه به مدار عملکردی است که ممکن است این عملکرد مطلوب نباشد. "کار تا خرابی" شیوه‌ای از مدیریت عکس‌العمل است که قبل از برداشتن هر گام به‌سوی نگهداری، منتظر خرابی جزء می‌ماند که در واقع یک مدیریت بدون نگهداری و از طرفی گران‌ترین مدیریت تعمیراتی است. با این همه، در این نوع مدیریت تا زمانی که سازه قادر به کار باشد، نه بازسازی می‌شود و نه تعمیر اساسی. در شرایط فعلی،

1- Emergency Maintenance

2- Run to Failure

سازه‌های موجود در شبکه از جمله دریچه‌ها با این شیوه تعمیر می‌شوند.

سناریوی دوم: تعمیر و نگهداری بر اساس قابلیت اطمینان کم (S2)

در این سناریو با توجه به تجزیه و تحلیل آماری، می‌توان وضعیت سازه را طی زمان کنترل کرد. در این سناریو، شرایط سازه در محدودهٔ با قابلیت اطمینان کم حفظ می‌شود. بنابراین احتمال خرابی سازه در آن نیز بیشتر است. در این حالت، با توجه به شکل ۳ می‌توان قابلیت اطمینان سازه را در وضعیت R_{C2} حفظ کرد و آن را با تعمیرات احتمالاً پرهزینه به وضعیت قابلیت اطمینان هدف(R_t) رساند. برای مثال، مشکل زنگ‌زدگی دریچه‌های آبگیری را می‌توان با هزینهٔ نسبتاً کمی برطرف کرد اما این کار اگر عملی نشود، ممکن است زنگ‌زدگی تبدیل به خوردگی شود و هزینه‌های بیشتری را تحمیل کند تا آنجا که به تعویض یا جایگزینی دریچه انجامد.

سناریوی سوم: تعمیر و نگهداری بر اساس قابلیت اطمینان بالا (S3)

در این سناریو، با توجه به تحلیل آماری می‌توان وضعیت سازه را طی زمان کنترل و از بروز خرابی جبران‌ناپذیر جلوگیری کرد. نکتهٔ مهم در این سناریو حفظ شرایط سازه در محدودهٔ عملکرد مناسب و با قابلیت اطمینان بالاست به‌طوری که با تعمیر و نگهداری‌های ساده و کم‌هزینه می‌توان این شرایط را حفظ و وضعیت سازه و احتمال بروز خرابی آن در آینده را پیش‌بینی کرد. در این حالت، با توجه به شکل ۳ می‌توان قابلیت اطمینان سازه را در وضعیت R_{C1} حفظ کرد و آن را با تعمیرات کم‌هزینه به وضعیت قابلیت اطمینان هدف (R_t) رساند. برای مثال، عملیات نگهداری دوره‌ای مانند روغن‌کاری، بازدید قفل و بست‌ها و رنگ‌آمیزی دریچه‌ها با هزینهٔ اندک می‌تواند از تحمیل هزینه‌های سنگین بازسازی و جایگزینی دریچه‌ها بکاهد.

به‌طور کلی تحقیق حاضر بر اساس گام‌های زیر پی گرفته شد:

۱- جانمایی دریچه‌های موجود در هریک از کانال‌ها در بستر نرم‌افزار GIS و استقرار کلی شبکه.

۲- استخراج دفعات خرابی هریک از دریچه‌ها بر اساس کاربرگ‌های تعمیر و نگهداری شبکه.

۳- ارائهٔ روش محاسبهٔ آهنگ خرابی هر یک از دریچه‌ها.

۴- ارائهٔ روش تعیین دورهٔ عمر دریچه‌ها برای محاسبهٔ شاخص‌های تعمیر و نگهداری.

۵- ارائهٔ شاخص‌های تعمیر و نگهداری مانند (میانگین زمان تا خرابی و قابلیت اطمینان).

۶- ارائه روش محاسبهٔ تابع قابلیت اطمینان در کانال‌ها با توجه به استقرار دریچه‌ها به‌صورت متوالی (سری).

۷- آسیب‌شناسی و ارائهٔ نحوهٔ تحلیل وضعیت تعمیر و نگهداری دریچه‌ها.

۸- تعیین سناریوهای بهره‌برداری و نحوهٔ تأثیر آن بر عملیات تعمیر و نگهداری دریچه‌ها.

نتایج و بحث

برای تعیین وضعیت دورهٔ عمر دریچه‌ها بر اساس منحنی وانی شکل، باید آهنگ خرابی را در چند سال متوالی بررسی و بر اساس آن نوع تابع توزیع را تعیین کرد. با توجه به اطلاعات موجود در شبکهٔ بهبهان، ۹۶ دریچه در شبکهٔ شمال وجود دارد که تعداد تعمیرات دریچه‌ها در سال‌های مختلف بین ۲ تا ۵ است. با توجه به اینکه قابلیت اطمینان تابعی از

آهنگ خرابی است، بنابراین ابتدا آهنگ خرابی تمامی دریچه‌ها محاسبه شده پس از آن بر اساس نتیجه‌های به‌دست آمده، دریچه‌هایی که آهنگ خرابی یکسانی دارند (تابع توزیع خرابی آنها نیز شبیه یکدیگر است) در یک دسته قرار گرفته‌اند. برای هر دسته یک دریچه به‌عنوان نماینده دسته تعیین شده است، به‌طوری‌که سعی بر آن بوده حداقل یک نماینده از هر کانال در این دسته‌بندی باشد. بنابراین، نُه دریچه بر اساس ضریب تغییرات، انتخاب و تغییرات آهنگ خرابی آنها بررسی شده است. نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- آهنگ خرابی دریچه‌ها بر اساس ضریب تغییرات در چند سال بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری

Table 2- Failure rate of gates based on coefficient of variation during several years of operation of irrigation canals

نام دریچه Gate name	نام کانال Canal name	ضریب تغییرات Coefficient of variation	آهنگ خرابی Failure Rate				
			سال ۹۱ Year 91	سال۹۲ Year 92	سال ۹۳ Year 93	سال ۹٤ Year 94	سال ۹۵ Year 95
58	A8	0.4	0.17	0.17	0.17	0.25	0.17
67	A11	0.5	0.17	0.17	0.17	0.25	0.25
06	A1	0.6	0.25	0.33	0.42	0.33	0.33
70	A12	0.7	0.17	0.17	0.25	0.17	0.17
64	A10	0.8	0.25	0.17	0.33	0.17	0.17
43	A5	0.9	0.25	0.17	0.33	0.33	0.17
51a	A5	1	0.25	0.42	0.42	0.25	0.44
40	A4	1.1	0.42	0.25	0.17	0.25	0.17
38a	A3	1.2	0.25	0.17	0.42	0.17	0.17

برای جلوگیری از محاسبهٔ تکراری و با توجه به پایین بودن اختلاف میان داده‌ها در محاسبهٔ آهنگ خرابی، دریچه‌ها بر اساس دفعات تعمیرات دسته‌بندی شدند (جدول ۳). برای این کار، دریچه‌ها بر اساس وضعیت عملکرد فعلی از بهترین حالت (دسته اول) تا بدترین حالت (دسته هفتم) تقسیم شده‌اند. به‌طور مثال، دریچه‌هایی که کمترین دفعات تعمیرات را دارند و آهنگ خرابی آنها به‌طور متوسط تا ۰/۱۹ است و دارای شرایط عملکردی مناسبی هستند، در دستهٔ اول (N-T1)، و دریچه‌هایی که بیشترین دفعات تعمیرات را داشته‌اند و آهنگ خرابی آنها بیشتر از ۰/۳۷ است در دستهٔ هفتم (N-T7) قرار می‌گیرند. جدول ۳ نشان می‌دهد که ۶۶ درصد از دریچه‌ها از دسته‌های اول تا سوم هستند که آهنگ خرابی پایین‌تری نسبت به سایر دریچه‌ها دارند.

جدول ۳- دسته‌بندی دریچه‌های کانال‌های آبیاری بر اساس آهنگ خرابی و دفعات تعمیرات در سال

Table 3- Classification of gates in irrigation canals based on failure rate and frequency of repairs per year

دسته Type	دفعات تعمیرات در ۵ سال Repairs Frequency in 5 years	آهنگ خرابی Failure Rate	تعداد دریچه‌ها Number of Gates	نسبت تعداد دریچه‌ها به تعداد کل دریچه‌های شبکه (%) Ratio of the number of gates to the total number of network gates (%)
N-T1	10-12	0.17-0.20	14	15%
N-T2	12-14	0.20-0.23	34	35%
N-T3	14-16	0.23-0.27	15	16%
N-T4	16-18	0.27-0.30	8	8%
N-T5	18-20	0.30-0.33	10	10%
N-T6	20-22	0.33-0.37	10	10%
N-T7	22-24	0.37-0.4	5	5%

شاخص‌های تعمیر و نگهداری

برای انتخاب بهترین تابع توزیع برای محاسبهٔ شاخص‌های تعمیر و نگهداری، روند تغییرات آهنگ خرابی بررسی شد. با توجه به اینکه آهنگ خرابی در سال‌های متوالی تقریباً یکنواخت است، بر اساس منحنی، دریچه‌ها در قسمت دوره عمر طبیعی قرار دارند بنابراین از تابع توزیع نمایی[1] که کاربرد فراوانی در نگهداری و تعمیرات دارد استفاده می‌شود. تابع نمایی توزیعی پیوسته است که دارای تابع چگالی احتمال به‌صورت رابطهٔ ۸ است (Pham, 2007; Wolstenholme, 2018).

$$f(t,\lambda)=\begin{cases}\lambda e^{-\lambda t} & ,t\geq 0\\ 0 & ,t<0\end{cases} \qquad (۸)$$

که در آن،

λ = وارون میانگین؛ t= زمان. حال با داشتن تابع توزیع می‌توان تابع توزیع خرابی و قابلیت اطمینان را محاسبه کرد. با توجه به اینکه تابع توزیع نمایی برای مقادیر مثبت کاربرد دارد بنابراین می‌توان تابع توزیع خرابی را به‌صورت رابطهٔ ۹ و تابع قابلیت اطمینان را به‌صورت رابطهٔ ۱۰ نمایش داد.

$$F(t)=\int_0^t f(x)dx=\int_0^t \lambda e^{-\lambda x}dx=-e^{-\lambda x}\Big|_0^t=1-e^{-\lambda t} \qquad (۹)$$

$$\begin{aligned}&R(t)=1-F(t)=e^{-\lambda t}\\ &R(0)=1\\ &\lim R(t)=0\\ &t\to\infty\end{aligned} \qquad (۱۰)$$

با فرض تابع توزیع نمایی می‌توان میانگین زمان تا خرابی را به‌صورت رابطهٔ ۱۱ ارائه کرد.

$$MTTF=\int_0^\infty t.f(t)dt=\int_0^\infty t.\lambda e^{-\lambda t}dt=\int_0^\infty R(t)dt=\frac{1}{\lambda} \qquad (۱۱)$$

بنابراین تابع قابلیت اطمینان، تابع توزیع خرابی و میانگین زمان تا خرابی برای دسته‌های مختلف دریچه‌ها محاسبه و در جدول ۴ قرار داده شده است.

جدول ٤- تابع قابلیت اطمینان و توزیع تجمعی خرابی برای دسته‌های مختلف دریچه‌های کانال‌های آبیاری

Table 4- Reliability and cumulative failure distribution function for different types of irrigation canals gates

دسته Type	تابع توزیع خرابی Failure distribution function	تابع قابلیت اطمینان Reliability function	میانگین زمان تا خرابی (ماه) Mean time to failure (month)
N-T1	$F(t)=1-e^{-0.185t}$	$R(t)=e^{-0.185t}$	5.5
N-T2	$F(t)=1-e^{-0.215t}$	$R(t)=e^{-0.215t}$	4.7
N-T3	$F(t)=1-e^{-0.25t}$	$R(t)=e^{-0.25t}$	4
N-T4	$F(t)=1-e^{-0.285t}$	$R(t)=e^{-0.285t}$	3.5
N-T5	$F(t)=1-e^{-0.315t}$	$R(t)=e^{-0.315t}$	3.2
N-T6	$F(t)=1-e^{-0.35t}$	$R(t)=e^{-0.35t}$	2.9
N-T7	$F(t)=1-e^{-0.385t}$	$R(t)=e^{-0.385t}$	2.6

قابلیت اطمینان در کل شبکهٔ آبیاری

با توجه به اینکه دریچه‌ها در هر یک از کانال‌های شبکهٔ آبیاری متوالی هستند، اختلال در هر یک از آنها بر عملکرد سایر دریچه‌های آن کانال تأثیر می‌گذارد. بنابراین با داشتن قابلیت اطمینان هر یک از دریچه‌ها، رابطهٔ ۷ را می‌توان به‌صورت رابطهٔ ۱۲بازنویسی کرد.

1- Exponential Distribution Function

$$R_s = e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t} e^{-\lambda_3 t} .. e^{-\lambda n t} = e^{-(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+...+\lambda_n)t} = e^{-\lambda_s}$$
$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + ... + \lambda_n \quad (۱۲)$$

که در آن، λ_i = آهنگ خرابی دریچهٔ i ام. به این ترتیب تابع قابلیت اطمینان و تابع توزیع خرابی برای کانال‌های شبکه محاسبه و در جدول ۵ قرار داده شده است.

جدول ۵- تابع قابلیت اطمینان و توزیع خرابی دریچه‌ها در هر یک از کانال‌های آبیاری بر اساس وضعیت دریچه‌ها

Table 5- Reliability and failure distribution function of each of irrigation canals based on the status of the gates

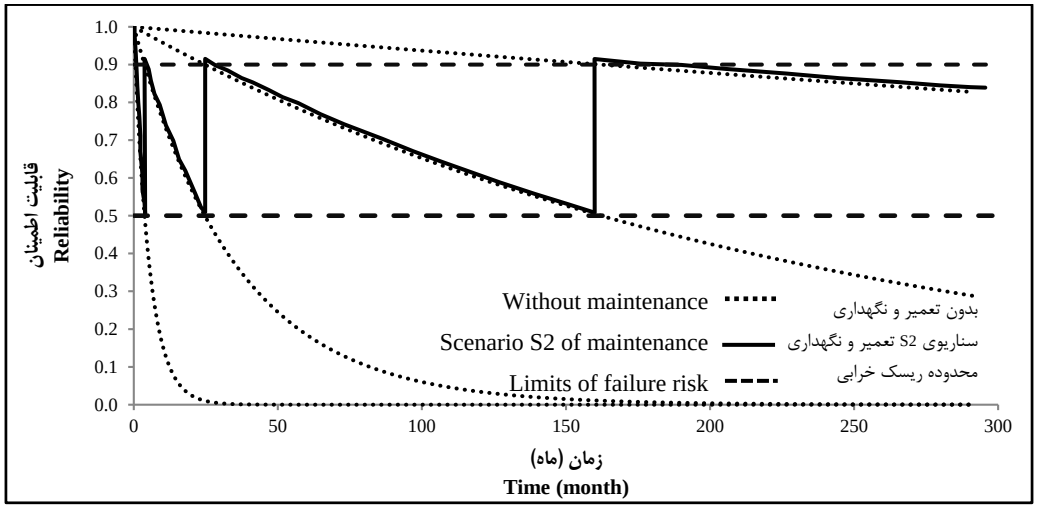
کانال Canal name	آهنگ خرابی کل Total Failure Rate	تابع قابلیت اطمینان Reliability Function	تابع توزیع خرابی Failure Distribution Function
A1	8.55	$R(t)=e^{-8.55t}$	$F(t)=1-e^{-8.55t}$
A2	1	$R(t)=e^{-t}$	$F(t)=1-e^{-t}$
A3	1.22	$R(t)=e^{-1.22t}$	$F(t)=1-e^{-1.22t}$
A4	0.43	$R(t)=e^{-0.43t}$	$F(t)=1-e^{-0.43t}$
A5	3.37	$R(t)=e^{-3.37t}$	$F(t)=1-e^{-3.37t}$
A6	0.2	$R(t)=e^{-0.2t}$	$F(t)=1-e^{-0.2t}$
A7	0.22	$R(t)=e^{-0.22t}$	$F(t)=1-e^{-0.22t}$
A8	0.6	$R(t)=e^{-0.6t}$	$F(t)=1-e^{-0.6t}$
A9	0.2	$R(t)=e^{-0.2t}$	$F(t)=1-e^{-0.2t}$
A10	0.42	$R(t)=e^{-0.42t}$	$F(t)=1-e^{-0.42t}$
A11	0.2	$R(t)=e^{-0.2t}$	$F(t)=1-e^{-0.2t}$
A12	0.18	$R(t)=e^{-0.18t}$	$F(t)=1-e^{-0.18t}$

نتایج مربوط به سناریوهای تعمیر و نگهداری

برای بررسی و مقایسهٔ سناریوهای معرفی شده، نیاز است قابلیت اطمینان هدف R_t معرفی شود به‌طوری‌که عملیات تعمیر و نگهداری در آن به واقعیت نزدیک باشد. به‌عبارت دیگر، از آنجاکه رساندن شرایط هر سازه به شرایط اولیهٔ آن ناممکن است بنابراین در این تحقیق فرض بر آن است که به‌عنوان هدف، سازه به قابلیت اطمینان ۹۰ درصد رسانده شود. در سناریوی S1 دفعات و هزینهٔ تعمیرات بر اساس شرایط واقعی است و دریچه‌ها تا زمانی‌که خراب نشوند تعمیر و نگهداری نمی‌شوند. در سناریوی S2 سطح قابلیت اطمینان به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده که در محدودهٔ ریسک خرابی نسبتاً بالا قرار گیرد که در این تحقیق برابر ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است. یعنی زمانی‌که قابلیت اطمینان در هر زمان در طول دورهٔ عمر سازه به ۵۰ درصد برسد، تعمیرات برای رساندن به سطح اطمینان هدف اجرایی می‌شود. نکتهٔ قابل توجه در این نوع تعمیر، دفعات نسبتاً کم تعمیرات، فاصلهٔ زیاد میان تعمیرات، پایین بودن قابلیت اطمینان و افزایش ریسک خرابی است. شکل ۴، وضعیت قابلیت اطمینان در سناریوی S2 را برای دریچه‌های تیپ یک نشان می‌دهد.

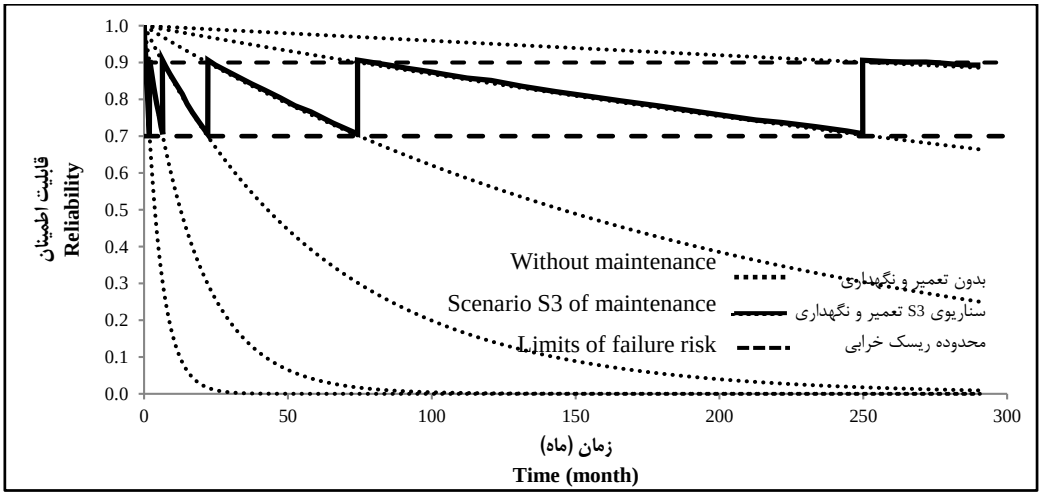
در سناریوی S3، سطح قابلیت اطمینان به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده که در محدودهٔ ریسک خرابی کم قرار گیرد که در این تحقیق برابر ۷۰ درصد است.

یعنی زمانی‌که قابلیت اطمینان در هر زمان به ۷۰ درصد برسد، تعمیرات برای رساندن به سطح اطمینان هدف به اجرا در می‌آید. بنابراین، قابلیت اطمینان به اندازهٔ ۲۰ درصد در هر مرحله افزایش می‌یابد و این روند در سراسر دورهٔ بهره‌برداری۲۵ ساله لحاظ شده است. نکتهٔ قابل توجه در این نوع تعمیر، دفعات زیاد تعمیرات، فاصلهٔ کم میان تعمیرات، بالا بودن قابلیت اطمینان و کاهش ریسک خرابی است. شکل ۵، وضعیت قابلیت اطمینان در سناریوی S3 را برای دریچه‌های تیپ یک نشان می‌دهد.



شکل ٤- تعمیر و نگهداری دریچه‌های N-T1 با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان ۵۰ تا ۹۰درصد (سناریوی S2)

Fig. 4- Maintenance of N-T1 gates considering reliability of 50-90% (Scenario S2)



شکل ۵- نگهداری دریچه‌های تیپ یک با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان ۷۰ تا ۹۰ درصد (سناریوی S3)

Fig. 5- Maintenance of N-T1 gates considering reliability of 70-90% (Scenario S3)

تغییرات هزینه نسبت به زمان و نیز تغییرات هزینه نسبت به تغییرات قابلیت اطمینان (تعمیرات و نگهداری موردنیاز) در دسترس نیست، از این رو لازم خواهد بود فرضیاتی به مسئله وارد شود. بنابراین دو

فرض زیر برای حل مسئله در نظر گرفته می‌شود، به‌طوری‌که نتایج برای کل دریچه‌ها قابل تعمیم باشد:

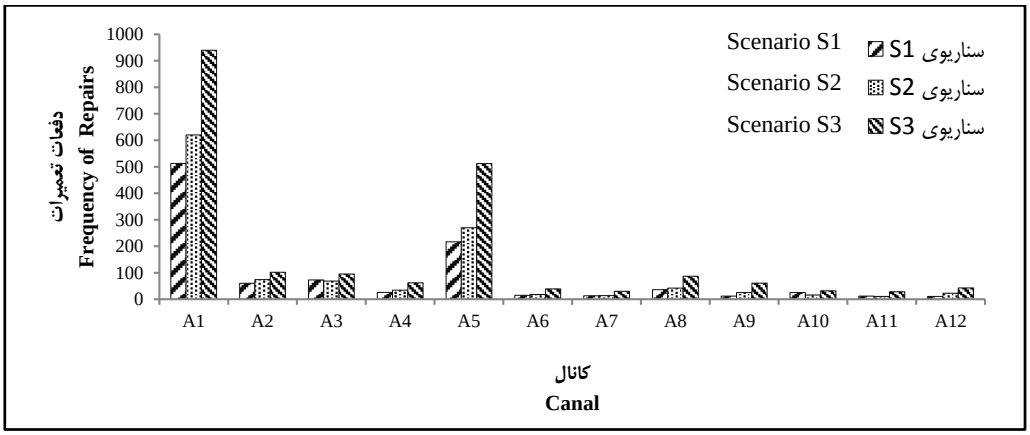
۱- تغییرات هزینه نسبت به زمان ثابت باشد.

برای مقایسهٔ بهتر سناریوها، بدترین حالت در نظر گرفته شده است تا محاسبات مذکور قابل استناد باشد؛ به عبارت دیگر، فرض ثابت بودن هزینه نسبت به زمان برای افزایش ضریب اطمینان محاسبات لحاظ شده است. روشن است که هزینه نسبت به زمان قطعاً افزایش خواهد یافت اما با وارد کردن این فرض به مسئله، سعی شده است که سناریویی از پیش برنده نباشد زیرا با این کار سناریوی دوم که نیاز به تعمیرات اساسی دارد با افزایش چند برابری هزینه مواجه خواهد بود که قطعاً بازنده است. برای مثال، اگر فرض شود هزینه رنگ‌آمیزی (در سناریوی سوم) در سال اول α مقدار باشد و هزینهٔ تعویض بدنهٔ دریچه (در سناریوی دوم) 3α باشد در سال دوم قطعاً هزینه تعویض بدنه دریچه بیشتر از 3α است اما همان 3α در نظر گرفته شده است.

۲- تغییرات هزینه نسبت به تغییرات قابلیت اطمینان (میزان تعمیر و نگهداری) خطی باشد.

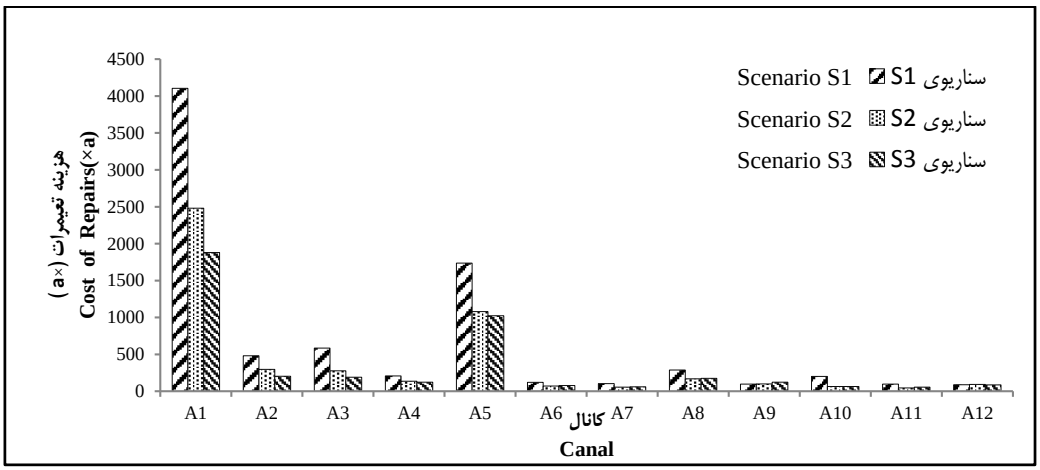
با توجه به اینکه تغییرات هزینه نسبت به تغییرات قابلیت اطمینان خطی فرض شده بنابراین به ازای افزایش ۱۰ درصد قابلیت اطمینان لازم است (a) واحد هزینه شود.

از آنجاکه دسترسی به هزینه، بودجه و عملکرد مالی شبکه دشوار و عملاً ناممکن بود- اطلاعات به‌علت محرمانه بودن در اختیار گذاشته نشد - بنابراین سناریوها از طریق بی‌بعدسازی هزینه‌ها و با استفاده از ارتباط بین میزان هزینه هر یک از عملیات تعمیر و نگهداری بر اساس شرایط واقعی شبکه مقایسه شده‌اند اطلاعات مذکور از تحلیل شیت‌ها و کاربرگ‌های بخش تعمیر و نگهداری شبکه استخراج شده و از آنجاکه هدف اصلی مقایسهٔ سناریوهاست از ارائه ارقام به ریال اجتناب شده است. بنابراین می‌توان وضعیت دفعات و هزینهٔ تعمیرات سناریوهای مختلف را برای تمامی کانال‌ها محاسبه کرد که در شکل‌های ۶ و ۷ نمایش داده شده است. در شکل ۶، سناریوهای مختلف تعمیر و نگهداری نسبت به هم سنجیده می‌شوند. برای مثال، دفعات تعمیرات در کانال A1 بر اساس سناریوی S1 برابر ۵۰۰، سناریوی S2 تقریباً برابر ۶۰۰ و سناریوی S3 تقریباً برابر ۹۰۰ و بدان معناست که در سناریوی S3 دفعات تعمیرات بیشتر است تا در دو سناریوی دیگر. هزینهٔ تعمیرات در سناریوهای مختلف محاسبه و در شکل ۷ آورده شده است. این شکل نشان می‌دهد که با وجود بیشتر بودن دفعات تعمیرات در سناریوی S3، هزینهٔ تعمیرات آن نسبت به دو سناریوی دیگر کمتر است. برای مثال، نسبت هزینهٔ تعمیرات سناریوی S1 در کانال A1 برابر ۴۱۰۰a، سناریوی S2 برابر ۲۵۰۰a و سناریوی S3 برابر ۱۹۰۰a است. این نتایج نشان می‌دهد که تعداد دفعات تعمیرات تعیین‌کنندهٔ میزان هزینهٔ تعمیرات نخواهد بود؛ به‌عبارت دیگر، دفعات تعمیرات در سناریوی S2 کمتر است تا در سناریوی S3، اما از آنجاکه تعمیرات در سناریوی S2 پر هزینه‌تر است بنابراین میزان هزینهٔ آن از هزینهٔ سناریوی S3، با تعمیرات جزیی‌تر و کم‌هزینه‌تر، بیشتر است. برای مثال، اگر دریچه‌ها (مربوط به سناریوی S3) ۲۰ بار روغن‌کاری شود، هزینه آن از ۷ بار تعمیر پوسیدگی دریچه‌ها (مربوط به سناریوی S2) کمتر است اگرچه تعداد آن بیشتر است.



شکل ٦- دفعات تعمیرات دریچه‌ها بر اساس سناریوهای مورد نظر در کانال‌های آبیاری

Fig. 6- Frequency of gates repairs based on the all scenarios in the irrigation canals



شکل ۷- هزینهٔ تعمیرات دریچه‌ها بر اساس سناریوهای مورد نظر در کانال‌های آبیاری

Fig. 7- Ratio of the cost of gates repairs based on the all scenarios in the irrigation canals

برای مقایسهٔ سناریوها در میزان هزینهٔ تعمیرات و نگهداری، نسبت هزینهٔ هر یک از سناریوها نسبت به یکدیگر محاسبه شده است که در جدول ۶ دیده می‌شود. این جدول نشان می‌دهد که هزینهٔ تعمیرات در سناریوی S1 نسبت به دو سناریوی دیگر بیشتر است (تقریباً ۱/۷ برابر سناریوی S2 و ۲ برابر سناریوی S3)، و این می‌رساند که شبکهٔ شمال بهبهان از نظر تعمیر و نگهداری در وضعیتمطلوبی قرار ندارد. از طرفی، سناریوی S3 نسبت به سناریوی S2 شرایط بهتری دارد زیراسبب کاهش هزینه‌ها به‌میزان ۲۰ درصد خواهد شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که برای کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری باید سازه‌های موجود در هر شبکهٔ آبیاری به‌صورت مستمر پایش و کنترل و به‌طور مستمر (و نه در زمان خرابی) بررسی و نگهداری شوند. تعمیر و نگهداری در شبکهٔ آبیاری بهبهان، مانند اغلب شبکه‌های کشور، وقتی عملی می‌شود که خرابی به‌بار آمده است و به‌همین دلیل هزینه‌های سنگینی برای نگهداری شبکه در پی دارد. این موضوع در اغلب شبکه‌های آبیاری صادق است و در نتیجه، اصلاح روش‌های تعمیر و نگهداری و برنامه‌ریزی برای پایش سازه‌های موجود در شبکهٔ آبیاری، سبب کاهش آهنگ خرابی، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری خواهد شد.

جدول ٦- مقایسهٔ هزینهٔ تعمیرات و نگهداری دریچه‌ها بر اساس سناریوهای معرفی شده در کانال‌های آبیاری
Table 6- Comparison of repair and maintenance costs of gates based on each scenario in irrigation canals

نسبت هزینه تعمیرات Cost of Repairs Ratio			کانال Canal
$\frac{S2}{S3}$	$\frac{S1}{S3}$	$\frac{S1}{S2}$	
1.32	2.18	1.65	A1
1.45	2.35	1.62	A2
1.45	3.07	2.12	A3
1.10	1.68	1.53	A4
1.05	1.70	1.61	A5
0.92	1.54	1.67	A6
0.93	1.73	1.86	A7
0.97	1.66	1.71	A8
0.82	0.79	0.96	A9
1.03	3.23	3.13	A10
0.79	1.71	2.18	A11
1.07	1.02	0.96	A12
1.20	2.00	1.67	کل شبکه

نتیجه‌گیری

هر سازه یا دارایی در هر سامانهٔ آبیاری برای کاری مشخص طراحی می‌شود. عملکرد هر سازه برای انجام وظیفهٔ مورد نظر، طی زمان و متناسب با افزایش عمر و میزان استفاده از آن، کاهش می‌یابد. برای تداوم بخشیدن به روند تأمین خدمات، نیاز خواهد بود به اطلاعات تفصیلی از وضعیت دارایی‌ها و سازه‌های سامانه و عملکردهای آنها. در بیشتر موارد، کمبود اطلاعات به‌روز از وضعیت سازه‌ها و عملکرد آنها سبب می‌شود تا به حد کافی به نگهداری آنها توجه نشود و این بی‌توجهی گاه سبب می‌شود تا آسیب‌های جدی به آنها وارد شود و نیاز به بازسازی و تعمیرات اساسی یا حتی تعویض پیدا کنند. پایش دارایی‌ها اقدامی است که مدیر را نسبت به وضعیت آنها آگاه می‌سازد و او را قادر می‌سازد تا در مورد هر دارایی و نقشی که در تأمین سطح خدمات باید داشته باشد، برنامه‌ریزی و اقدام کند. علاوه بر این، اطلاعات و آمار از وضعیت دارایی‌ها به‌عنوان شاخصی برای تنظیم اولویت هزینه‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی زمانی آنها به کار برده می‌شود. در این تحقیق، با استفاده از آمار تعمیرات و نگهداری دریچه‌های موجود در شبکهٔ آبیاری شمال بهبهان به ارزیابی وضعیت فیزیکی و احتمال خرابی آنها پرداخته شد و سرانجام با در نظر گرفتن سناریوهای تعمیر و نگهداری، راهکاری برای حفظ و افزایش عملکرد، کاهش هزینه‌ها و افزایش قابلیت اطمینان آنها ارائه شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در شبکهٔ آبیاری شمال بهبهان، دریچه‌ها صرفاً در زمان خرابی تعمیر و نگهداری می‌شوند که نتیجهٔ آن کاهش عمر دریچه‌ها و تحمیل هزینه‌های سنگین به شبکه است، هرچند می‌توان با در نظر گرفتن تعمیرات اصلاحی و پیشگیرانه، که در این تحقیق ارائه شده‌است، این هزینه‌ها را کاهش داد. برای مثال، در کانال‌های A3 و A10 می‌توان هزینهٔ تعمیر و نگهداری را تا یک سوم کاهش داد و با آن مقدار که صرفه‌جویی شده برای ارتقای شبکه یا تعمیر سایر دریچه‌ها برنامه‌ریزی کرد. پیش‌بینی زمان خرابی سازه‌ها و تعمیر و نگهداری به‌موقع آنها نه‌تنها

آهنگ خرابی را کاهش می‌دهد بلکه سبب کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیز می‌شود. تعمیر و نگهداری‌های دوره‌ای (نه فقط در زمان خرابی) اگرچه دفعات تعمیرات را افزایش می‌دهد اما با توجه به کم‌هزینه بودن تعمیرات در این شرایط، هزینه‌های کل شبکه را بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد کاهش می‌دهد، قابلیت اطمینان عملکرد سازه را افزایش می‌دهد، و آهنگ خرابی آن را بین ۲۰ تا ۸۰ درصد کاهش می‌دهد.

مراجع

Aghasizadeh, Z., & Jahani, M. (2017). *Selection of maintenance and repair strategy by hierarchical analysis technique (AHP) (case study: Mashhad Tabak Factory)*. *National Conference on Culture of Urban Identity and Tourism*. Mashhad, May 2015, Iran. (in Persian)

Ahmadi, S. H., & Mokhtarzadeh, N. (2013). Checking and Prioritizing the Rate of Sensetivity of Machines for Pprecautionary Maintenance with Martel & Zaras Method (The case study: Tolid Atash factory). *Industrial Management Journal, 5*(2), 1-22.

Amini Khoshalan, H., Torabi, S. R., Seyf Panahi, K., & Razi Fard, M. (2017). Modeling of reliability, availability, repair and maintenance of electrical systems all sections of tunnel boring machines. *Journal of Mineral Resources Engineering, 2*(2), 1-10. (in Persian)

Billinton, R., & Allan, R. N. (1992). *Reliability Evaluation of Engineering Systems*. Springer.

Burton, M., & Hall, R. (1999). Asset management for irrigation systems–Addressing the issue of serviceability. *Irrigation and Drainage Systems, 13*(2), 145-163.

Chaudhuri, G., Hu, K., & Afshar, N. (2001). A new approach to system reliability. *IEEE Transactions on Reliability, 50*(1), 75-84.

Cruse, T. A. (1997). *Reliability-Based Mechanical Design.* Vol. 108. CRC Press.

Hastings, N. A. (2010). *Physical Asset Management*. Vol. 2. Springer.

Huang, W., & Askin, R. G. (2003). Reliability analysis of electronic devices with multiple competing failure modes involving performance aging degradation. *Quality and Reliability Engineering International, 19*(3), 241-254.

Jafarnezhad, A., & Esmaeilian, M. (2011). Preventive maintenance timing in multi-skilled workforce mode. *Management Researches in Iran, 15*(2), 47-70. (in Persian)

Keynia, F. (2017). Preventive and corrective maintenance to the lifetime efficiency of power transformer considering the effect of aging on reliability. *Energy: Engineering & Managment, 7*(3), 20-31.

Kitamura, K., & Nakaya, T. (2010). Case study on application of asset management of irrigation infrastructure for rice production in Australia. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ, 44*(1), 45-51.

Klutke, G.-A., Kiessler, P. C., & Wortman, M. A. (2003). A critical look at the bathtub curve. *IEEE Transactions on Reliability, 52*(1), 125-129.

Kumar, U. D., Crocker, J., Knezevic, J., & El-Haram, M. (2012). *Reliability, Maintenance and Logistic Support: A Life Cycle Approach*. Springer Science & Business Media.

Kustiani, I., & Scott, D. (2012). Developing an asset management plan for a sustainable future Indonesia irrigation systems. *WIT Transactions on Ecology and the Environment, 168*, 323-337 .

Malano, H. M., Chien, N. V., & Turral, H. N. (1999). Asset management for irrigation and drainage infrastructure–principles and case study. *Irrigation and Drainage Systems, 13*(2), 109-129.

Malano, H. M., George, B. A., & Davidson, B. (2005). Asset management modelling framework for irrigation and drainage systems: Principles and case study application. *Irrigation and Drainage Systems, 19*(2), 107-127.

Moorhouse, I. (1999). Asset management of irrigation infrastructure–the approach of Goulburn-Murray Water, Australia. *Irrigation and Drainage Systems, 13*(2), 165-187.

Moubray, J. (2001). *Reliability-Centered Maintenance*: Industrial Press Inc.

Pham, H. (2007). *System Software Reliability*, Springer Science & Business Media.

Ramezani, S., Moeini, A., & Riahi, M. (2019). A model for determining rotary equipment decay and residual shelf life with a new approach to integrating and predicting health indicators. *Modares Mechanical Engineering, 19*(10), 2351-2365. (in Persain)

Rausand, M., & Høyland, A. (2003). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications.* Vol. 396. John Wiley & Sons.

Svendsen, M., & Huppert, W. (2003). Optimal maintenance in irrigation. *Irrigation and Drainage Systems, 17*(1-2), 109-128.

Van Hofwegen, P. J. (1999). Asset management programmes for financial planning and management in irrigation and drainage. *Irrigation and Drainage Systems, 13*(2), 131-143.

Vermillion, D. L., Samad, M., Pusposutardjo, S., Arif, S. S., & Rochdyanto, S. (2000). *An Assessment of the Small-Scale Irrigation Management Turnover Program in Indonesia*. Vol. 38. IWMI.

Wolstenholme, L. C. (2018). *Reliability Modelling: a Statistical Approach*: Routledge.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.21/No.79/ Summer 2020/ P: 73-92

Improvement of Maintenance Process of Offtake Structures in Irrigation Canals Based on Monitoring and Analyzing of the Current Situation (Case Study of Northern Behbahan Irrigation Scheme)

M. Delfan Azari and A. Parvaresh Rizi*

*Corresponding Author: Associate Professor, Irrigation & Reclamation Engineering Department, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: parvarsh@ut.ac.ir
Received: 2 December 2019, Accepted: 14 February 2020

Extended Abstract

Introduction

Unlike industrial facilities, irrigation and drainage infrastructure are both scattered and expensive compared to the revenues of irrigation management organizations. Also, these assets (canals and structures network) have specific hydraulic properties in terms of their function and role. Since irrigation organizations must also consider the commercial aspects of irrigation and drainage services, it is necessary to consider the details of the costs incurred in providing these services. Each service and facility must be managed based on its durability and life cycle to provide the services at the lowest cost. Maintenance extends the life of the equipment and in other words delays depreciation and failing. Maintenance plays an important role in the reliability, quality of production, risk reduction and increased efficiency. In the present situation, the lack of anticipation of structures failing, and its timely maintenance in most irrigation networks, reduces the life of network components, which is a major investment for them. Therefore, in this study, using the existing relationships and criteria and using statistics and probabilities, in addition to assessing the maintenance status of offtake structures in Behbahan irrigation network, the failure pattern of structures is predicted using maintenance scenarios. Then, the research results are presented for timely planning and repairs to reduce the risk of failure and reduce the costs imposed on the studied structures.

Methodology

In this study, the status of the off take structures along the canal path in the northern Behbahan irrigation network on the right bank of the Shohada diversion dam has been studied. The off take structures in the Behbahan irrigation network are used to adjust the amount of water flowing into the canals to coordinate the water level and the flow rate with the amount of water demand. The network has one main canal (about 20 kilometers long) that supplies water to the second channel, A1 to A12. Many maintenance issues such as failure times are not accurate. Many of the factors in these systems are random. But it is possible to define them as random variables and assign them probabilistic distributions. To improve the maintenance condition, a

maintenance program should be used that not only reduces operating and maintenance costs but also reduces the risk of failure. Therefore, three scenarios including low reliability, high reliability, and current maintenance conditions are defined.

Results and Discussion

Since it is impossible to achieve the conditions of a structure to its initial conditions, it is therefore assumed the target of reliability is 90%. To compare the scenarios in terms of maintenance costs, the cost of each scenario is calculated. The cost of repair in the S1 scenario(a current condition in the present network) is higher than the other two scenarios, with approximately 1.7 times the S2 scenario and 2 times the S3 scenario. Therefore, the north of Behbahan network is not in favor of maintenance. On the other hand, the S3 scenario is better than the S2 scenario because it will reduce costs by 20%. The results show that in order to reduce maintenance costs, structures in an irrigation network must be monitored on a continuous basis and be inspected regularly (not at the time of failure). Maintenance of the Behbahan irrigation network is done only at the time of failure and therefore costs are high to maintain the network. Improving maintenance and planning for monitoring structures in the irrigation network will reduce failure rates, increase reliability, and reduce operating and maintenance costs.

Conclusions

Asset monitoring alerts management to the status of assets and enables it to plan and act on any asset and its role in providing services. Also, asset status information and statistics are used as an indicator for prioritizing costs and investments and scheduling them. In this study, using repair and maintenance statistics of off take structures in the North of Behbahan irrigation network, their physical status, and probability of failure were evaluated and based on the maintenance scenarios, solutions were provided to maintain and increase performance, reduce costs and increase their reliability. The results show that predicting the failure time of the structures and their timely maintenance not only reduces the failure rate but also reduces maintenance costs. Although periodic maintenance (not only at breakdown time), although it increases the frequency of repairs, due to the low cost of repairs, it not only reduces the cost of the entire network by 20% to 100% but also increases the reliability of the structure's performance. And it reduces its failure rate by 20 to 80 percent.

Keywords: Asset Management, Failure Rates, Preventative Maintenance, Repairs Planning