

10600-NWWCE

بررسی فنی و مالی روش‌های گندزدایی بر پایه کلر و یافتن بهترین روش به کمک

مقایسه AHP و نرم‌افزار EXPERT CHOICE

ابراهیم ابوطالبی شکور^۱، حسین جمشیدی^۲

۱- کارشناس مکانیک، ناظر مکانیکال پروژه‌های آبرسانی، شرکت مهندسی مشاور طوس آب

۲- مدیر طرح‌های آبرسانی شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان

Ebrahim_aboutalebi@yahoo.com

خلاصه

در این مقاله تحقیقاتی بر روی ۶ روش بر پایه کلر که از پرکاربردترین و مؤثرترین روش‌های گندزدایی به شمار می‌روند انجام دادیم و به بررسی مزایا و معایب و مقایسه آن‌ها پرداختیم. همچنین توسط اکسل نرم‌افزاری محاسباتی تهیه شد که هزینه گندزدایی‌ها در مراحل مختلف تا ۵ سال اول را به تفصیل به ما خواهد داد. هدف، رسیدن به بهترین شیوه می‌باشد. برای رسیدن به این مهم می‌بایست معیارها ارزش‌گذاری شود، با تهیه پرسشنامه خبره و جمع‌آوری ۳۴ پرسشنامه که از متخصصین در صنعت آب، آبرسانی و گندزدایی آب جمع‌آوری گردید، اهمیت معیارهای تصمیم‌گیری را بدست آورده و به کمک روش مقایسه AHP و با مدد گرفتن از نرم‌افزار Expert choice به شیوه‌های الکترولیز نمک طعام (مولتی اکسیدانت)، آب ژاول و هیپوکلریناتور به عنوان بهترین روش‌ها به ترتیب اولویت دست یافتیم.

کلمات کلیدی: کلر، گندزدایی، ahp، expert choice

۱. مقدمه

مطالعات همه‌گیرشناسی بیانگر این مسئله است که مصرف آب آلوده چه به صورت مستقیم و چه از طریق استفاده از آن برای مقاصد بهداشت فردی یا تفریح می‌تواند سلامت انسان را به خطر بیندازد [۱]. طبق آمار سازمان جهانی بهداشت^۱ مرگ و میر بر اثر آب و هوای آلوده سالانه به ۱۲٫۶ میلیون نفر می‌رسد [۲]. به دلیل اهمیت موضوع در سال ۱۹۷۴ میلادی در آمریکا و ۱۳۴۵ شمسی در ایران نخستین استانداردهای آب آشامیدنی [۳] تدوین گردید. طبق استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳ و ۱۰۱۱ آب مصرفی و یا آشامیدنی آبی است که عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و رادیو نوکلئیدی آن در حدی باشد که مصرف و یا آشامیدن آن عارضه سوئی برای انسان در کوتاه‌مدت یا درازمدت ایجاد نکند [۳] [۱]. هدف رسیدن به بهترین روش از میان روش‌های موجود با در نظر گرفتن تمام معیارهایی که در پیش رو می‌باشد است. در ابتدا دید کلی نسبت به کلر و روش‌های مختلف مورد بحث و هزینه گندزدایی هر مترمکعب آب خواهیم داشت و در انتها به مقایسه و جمع‌بندی موارد می‌پردازیم.

^۱ World Health Organization

۲. کلر^۱

علامت اختصاری کلر، Cl بوده، عدد اتمی آن ۱۷ و جرم اتمی آن ۳۵/۴۵۳ می باشد [۴] و در سال ۱۷۷۴ توسط کارل ویلهلم شیله (به سوئدی: Carl Wilhelm Scheele) (۹ دسامبر ۱۷۴۲ - ۲۱ مه ۱۷۸۶) کشف گردید [۵]. کلر تقریباً همیشه به صورت یک مولکول با دو اتم کلر پیوند داده با هم و به شکل Cl_2 با وزن مولکولی ۷۰/۹۰۶ وجود دارد. کلر یکی از موادی است که بیشترین طرفداران را در گندزدایی و اکسیداسیون در فرآیند تصفیه آب به خود اختصاص داده است. گندزدایی بر پایه کلر امروزه به عنوان مناسب ترین و متداولترین روش گندزدایی آب آشامیدنی در دنیا مورد استفاده قرار می گیرد و در تحقق سلامت میکروبی آب کاملاً مورد تایید سازمان جهانی بهداشت WHO می باشد. برخی از محاسن استفاده از کلر عبارت است از:

- تقریباً بر ضد همه ی باکتری های بیماری زا تأثیر بالایی دارد.
 - با ایجاد کلر باقی مانده^۲ از آلودگی مجدد آب جلوگیری کرده و تولید بیوفیلم ها در شبکه ی توزیع یا خط انتقال را می کاهد. که این کار تقریباً از گندزدایی رایج دیگر که پایه کلر ندارند ساخته نیست (مانند ازن زنی که ماندگاری به شدت کمی دارد و UV که به هیچ عنوان ماندگاری در آب ندارد).
 - با قدرت اکسید کنندگی بالا، برای مقاصد پیش اکسایش مناسب است.
 - اما کلر زنی معایبی نیز دارد که محدودیت هایی را برایمان ایجاد میکند
 - در طی فرآیند گندزدایی محصولات جانبی^۳ (DBPs) مانند تری هالومتان ها^۴ (THM) و هالو استیک اسیدها^۵ (HAA) را تولید می کند که اگر از محدوده استانداردهای تعیین شده خارج شود به شدت برای سلامتی مصرف کننده مضر می باشد.
 - با اکسایش برمید به برم، موجب تولید محصولات جانبی آلی برمیزه شده می شود.
 - بر ضد برخی تک یاخته ها مانند کریپتوسپریدیوم^۶ مؤثر نیست.
- علیرغم موارد بالا که ریسک سرطان زایی در مصرف کننده ها را بالا میبرد، ریسک مرگ و میر در اثر موارد بیماری زا ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر بیشتر از آن است [۶]. به همین دلیل و مزایای متعدد دیگر روش های بر پایه کلر در تحقق سلامت میکروبی آب، سازمان جهانی بهداشت و همچنین سازمان ملی استاندارد ایران با تدوین دستورالعمل های مختلف به صراحت اعلام کرده اند که کلر زنی با رعایت این استانداردها بلامانع می باشد.

۳. روش های رایج موجود (بر پایه کلر)

۳-۱ الکترولیز نمک طعام (مولتی اکسیدانت)

گندزدایی آب به روش الکترولیز آب و نمک و تولید مولتی اکسیدانت به عنوان یک تکنولوژی نوین، ایمن و کارآمد در دنیا مطرح است. محلول مولتی اکسیدانت از الکترولیز محلول نمک طعام (کلرید سدیم) یا آب شور دریا که هر دو با کمترین هزینه در دسترس می باشد، تولید شده و مخلوطی از ترکیبات گندزداها است. سهم اصلی این مواد گندزدا را ترکیبات کلر آزاد (ClO^- ، $HClO$ و Cl_2 محلول) تشکیل داده و مقادیر بالایی از ترکیبات دیگر مانند دی اکسید کلر محلول، ازن محلول، آب اکسیژنه و اکسیژن محلول در آن وجود دارد.

^۱ Chlorine^۲Chlorine Residual^۳Disinfection byproducts^۴Trihalomethanes^۵Haloacetic acids^۶Cryptosporidium

۳-۲ الکترولیز نمک طعام (هیپوکلریت کلسیم)

آب تصفیه شده با کدورت پایین پس از عمل فیلتراسیون به واحد سختی گیری غشایی NF یا RO انتقال می یابد و پس از کاهش سختی، با نمک بدون ید مخلوط شده محلول نمک تولید میگردد. محلول نمک تولیدی وارد سلول الکترولیز نمک شده و در آنجا محلول هیپوکلریت سدیم و گاز هیدروژن تولید می گردد. در مخزن آرامش پیش از تزریق گاز هیدروژن در بالای مخزن جداسازی شده و به کمک دمنده های هوا رقیق سازی شده یا به غلظت پایین تر از اشتعال رسانده می شود و سپس به هوا تخلیه می گردد. فرآیندهایی که در این مسیر به وجود می آیند به شرح زیر است:



۳-۳ گاز کلر

گاز کلر به صورت مایع در مخازن تحت فشار نگهداری می گردد. سیستم کلریناتور با برداشتن فشار از روی گاز یا مایع کلر در مخزن (و با کمک دستگاه تبخیر ساز در صورت استفاده از مایع برای ظرفیت های بالا) دز مناسب را برای تزریق آماده سازی می نماید. گاز کلر توسط انژکتور به آب تزریق می گردد و سپس محلول غلیظ برای گندزدایی مورد استفاده قرار میگیرد. فرآیندهایی [۷] که در این مسیر به وجود می آیند به شرح زیر است:



۳-۴ هیپوکلریناتور (پرکلرین)

کلسیم هیپوکلریت با فرمول $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ماده ای جامد و سفید رنگ، با بوی تند شبیه به گاز کلر می باشد که خورنده است و معمولاً با ۶۵٪ کلر در دسترس و بیشتر به صورت پودر، گرانول یا قرص های جامد به فروش می رسد، که هر سه به راحتی در آب حل می شوند. فرآیند [۷] شماره (۵) در این مسیر شکل میگیرد.



۳-۵ هیدروکلریناتور (پرکلرین)

روش هیدروکلریناتور کاملاً مشابه روش هیپوکلریناتور است که توسط مخترعین داخل ایران ساخته و به ثبت رسیده است و از زیر مجموعه های سیستم پرکلرین می باشد. تولید نیرو در این دستگاه از انرژی ریزش آب بر روی توربین تولید می شود. فرآیند شماره (۵) مانند روش قبل در این مسیر شکل میگیرد.

۳-۶ آب ژاول

سدیم هیپو کلریت ماده ای شیمیایی با فرمول NaClO که به آن آب ژاول هم گفته میشود و به صورت محلول با غلظت کلر فعال تا ۱۵ در صد جرمی عرضه می شود. این محلول زلال، کمی متمایل به زرد، به شدت قلیایی و خورنده و دارای بوی شدید کلر است [۹]. تجزیه هیپو کلریت کلسیم طبق فرمول [۷] شماره (۶) انجام می شود:



۴. مقایسه روش‌های موجود

۴-۱ مقایسه از دید فنی

در جدول شماره ۱ که به صورت کلامی یا verbal تدوین گردیده (بدن منظور که ورودی مناسبی برای روش تحلیل Ahp^1 و نرم افزار باشد) ویژگی روش‌های مختلف که از منابع گوناگون استخراج شده است [۶] [۸] [۹] به صورت دسته بندی شده آمده است.

جدول ۱- مقایسه روش‌ها از منظر فنی

آب ژاؤل	پرکلرین هیدروکلریناتور	پرکلرین هیپوکلریناتور	گاز کلر	الکترولیز هیپوکلریت سدیم	الکترولیز مولتی اکسیدان	
تقریبا ۲۰ تا ۴۵ دقیقه	تقریبا ۲۰ تا ۴۵ دقیقه	تقریبا ۲۰ تا ۴۵ دقیقه	تقریبا ۲۰ تا ۳۰ دقیقه	تقریبا ۲۰ دقیقه	حداکثر ۱ دقیقه	زمان تماس (وابسته به شرایط موجود و pH آب)
نسبتا طولانی	نسبتا طولانی	نسبتا طولانی	نسبتا طولانی	نسبتا طولانی	طولانی	اثر ماندگاری
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	قوی	عملکرد ضد عفونی
نسبتا کم	نسبتا کم	نسبتا کم	خیلی زیاد	کم	خیلی کم	امکان خطر ایمنی در سایت
خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	کم	خیلی کم	امکان خطر ایمنی در آب (تولید مواد جانبی)
راحت	راحت	راحت	دشوار	نسبتا دشوار	نسبتا دشوار	سهولت بهره برداری و تعمیرات
خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	کم	بسیار کم	پراکندگی در ایران
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	پراکندگی در اروپا و آمریکا
کم	کم	کم	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	وابستگی به بازارهای جهانی

در معیار زمان تماس، که کاملا به شرایط موجود آب (مانند دما و PH که تاثیرات قابل توجهی بر جای میگذارند) بستگی دارد، زمان موجود در شرایط نرمال و تجربیات بهره برداران در نظر گرفته شده است.
امکان خطر ایمنی در سایت شامل خطراتی است که در حین بهره برداری و انبارداری و جابجایی مواد و تجهیزات موجود ممکن است در سایت گندزدایی به وجود آید. امکان خطر ایمنی در آب نیز مخاطراتی است که مواد جانبی تولید شده در فرآیند گندزدایی (مانند تری هالومتان ها) به وجود می آورند.

۴-۲ مقایسه از دید اقتصادی

برای مقایسه اقتصادی روش‌های موجود جدول شماره ۲ و ۳ به ترتیب برای ۱۵۰ و ۲۰۰ لیتر در ثانیه به عنوان مثال آورده شده، که خروجی برنامه ای است که در محیط اکسل نوشته شده است و قابل انعطاف بوده و بر اساس دبی ورودی داده شده، هزینه مواد اولیه و خرید لوازم، هزینه‌های کلی سال اول، ۵ سال اول و هزینه گندزدایی میانگین در ۵ سال نخست طرح برای هر متر مکعب را به صورت اتوماتیک و با دقت بالا محاسبه میکند. هزینه های خرید و مواد اولیه با مشاوره بهره برداران محترم و از شرکت‌های فروشنده به صورت پیش فاکتور استعلام گرفته شده است (استعلام ها با گذشت زمان می‌بایست به روز رسانی شوند).

¹The Analytic Hierarchy Process

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

همان طوری که مشاهده می شود روش گندزدایی آب ژاول در رنج دبی ۱۵۰ لیتر در ثانیه مقرون به صرفه ترین روش از میان روش های موجود برای مدت یک سال و همچنین تا افق ۵ سال می باشد. و روش گندزدایی آب ژاول در رنج دبی ۲۰۰ لیتر در ثانیه مقرون به صرفه ترین روش در سال اول

و گاز کلر در افق ۵ سال اول مقرون به صرفه ترین شیوه می باشند. با بررسی دبی های مختلف به این نتیجه میرسیم که برای تصمیم گیری از منظر اقتصادی دبی طرح نقش اصلی را ایفا میکند و برای هر رنج دبی، روش متفاوتی صرفه اقتصادی پیدا میکند.

جدول ۲- مقایسه روش ها از منظر اقتصادی برای دبی ۱۵۰ لیتر در ثانیه

آب ژاول 15%	پرکلرین 65% (هیدروکلریناتور)	پرکلرین 65% (هیپوکلرید کلسیم)	گاز کلر	الکترولیز (هیپوکلریت سدیم)	الکترولیز (مولتی اکسیدان)	
۴۰	۱۵	۲۰	۶۰	۴۰	۴۰	مساحت مورد نیاز m3
متوسط	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	لوازم استاندارد مورد نیاز
۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۷۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۴۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱,۶۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	هزینه خرید اولیه دستگاه و لوازم مربوط
۱۳,۳۳	۳,۰۷	۳,۰۷	۲	۶	۱۴	تزیق مورد نیاز گرم در مترمکعب
۵,۱۸۳	۱,۱۹۴	۱,۱۹۴	۷۷۸	۲,۳۳۳	۵,۴۴۳	میزان مواد مصرفی (کیلوگرم در ماه)
۴,۵۰۰	۶۵,۰۰۰	۶۵,۰۰۰	۱۱,۰۰۰	۲,۷۰۰	۲,۷۰۰	هزینه مواد مصرفی (کیلوگرم ریال)
۲۳,۳۲,۱۶۸	۷۷,۵۸۵,۰۴۰	۷۷,۵۸۵,۰۴۰	۸,۵۵۳,۶۰۰	۶,۲۹۸,۵۶۰	۱۴,۶۹۶,۶۴۰	هزینه مواد مصرفی در ماه
۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	هزینه بهره برداری و پرسنل
۸۵۹,۸۶۶,۰۱۶	۱,۱۸۱,۰۲۰,۴۸۰	۱,۳۵۱,۰۲۰,۴۸۰	۱,۳۰۲,۶۴۳,۲۰۰	۲,۰۲۵,۵۸۲,۷۲۰	۳,۹۷۶,۳۵۹,۶۸۰	هزینه کل در سال اول
۲,۶۹۹,۳۳۰,۰۸۰	۵,۶۲۵,۱۰۲,۴۰۰	۵,۷۹۵,۱۰۲,۴۰۰	۳,۸۱۳,۲۱۶,۰۰۰	۳,۵۲۷,۹۱۳,۶۰۰	۴,۸۸۱,۷۹۸,۴۰۰	هزینه کل در ۵ سال اول
۱۱۶	۲۴۱	۲۴۸	۱۲۱	۱۵۱	۲۰۹	هزینه گندزدایی 1 مترمکعب در ۵ سال
محاسبات بر اساس دبی ۱۵۰ لیتر در ثانیه انجام شده است						هزینه ها به ریال میباشد

جدول ۳- مقایسه روش ها از منظر اقتصادی برای دبی ۲۰۰ لیتر در ثانیه

آب ژاول 15%	پرکلرین 65% (هیدروکلریناتور)	پرکلرین 65% (هیپوکلرید کلسیم)	گاز کلر	الکترولیز (هیپوکلریت سدیم)	الکترولیز (مولتی اکسیدان)	
۴۰	۱۵	۲۰	۶۰	۴۰	۴۰	مساحت مورد نیاز m3
متوسط	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	لوازم استاندارد مورد نیاز
۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۷۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۴۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱,۶۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	هزینه خرید اولیه دستگاه
۱۳,۳۳	۳,۰۷	۳,۰۷	۲	۶	۱۴	تزیق مورد نیاز گرم در مترمکعب
۶,۹۱۰	۱,۵۹۱	۱,۵۹۱	۱,۰۳۷	۳,۱۱۰	۷,۲۵۸	میزان مواد مصرفی (کیلوگرم در ماه)
۴,۵۰۰	۶۵,۰۰۰	۶۵,۰۰۰	۱۱,۰۰۰	۲,۷۰۰	۲,۷۰۰	هزینه مواد مصرفی (کیلوگرم ریال)
۳۱,۰۹۶,۲۲۴	۱۰۳,۴۴۶,۷۲۰	۱۰۳,۴۴۶,۷۲۰	۱۱,۴۰۴,۸۰۰	۸,۳۹۸,۰۸۰	۱۹,۵۹۵,۵۲۰	هزینه مواد مصرفی در ماه
۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	هزینه بهره برداری و پرسنل
۹۵۳,۱۵۴,۶۸۸	۱,۴۹۱,۳۶۰,۶۴۰	۱,۶۶۱,۳۶۰,۶۴۰	۱,۲۳۶,۸۵۷,۶۰۰	۲,۰۵۰,۷۷۶,۹۶۰	۳,۰۳۵,۱۴۶,۲۴۰	هزینه کل در سال اول
۳,۱۶۵,۷۷۳,۴۴۰	۷,۱۷۶,۸۰۳,۲۰۰	۷,۳۴۶,۸۰۳,۲۰۰	۲,۹۸۴,۲۸۸,۰۰۰	۳,۶۵۳,۸۸۴,۸۰۰	۵,۱۷۵,۷۳۱,۲۰۰	هزینه کل در ۵ سال اول
۱۰۲	۲۳۱	۲۳۶	۹۶	۱۱۷	۱۶۶	هزینه گندزدایی 1 مترمکعب در ۵ سال
محاسبات بر اساس دبی ۲۰۰ لیتر در ثانیه انجام شده است						هزینه ها به ریال میباشد

لازم به توضیح است فاکتور مساحت مورد نیاز، به دلیل متغیر بودن قیمت زمین و وابستگی شدید به محل احداث سیستم (به طور مثال داخل و یا خارج شهر بودن) در هزینه پیش بینی نگردیده است و با دانستن قیمت زمین میتوان آن را در محاسبات لحاظ کرد. فاکتورهای زیست محیطی و فنی نیز در این بخش از مقایسه لحاظ نگردیده و نتیجه گیری تنها از نقطه نظر اقتصادی بررسی گردیده است. به طور مثال پر واضح است که از روش کلر زنی گازی در محدوده شهری به دلیل خطرات احتمالی آن نمی بایست استفاده شود.

۵. نتیجه گیری

برای نتیجه گیری کلی با توجه به یکسان نبودن واحد و کمی و کیفی بودن معیارهای مطرح شده به سراغ علم تصمیم گیری و آمار میرویم. در علم تصمیم گیری که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود و یا اولویت بندی راهکارها مطرح است، چند سالی است که روشهای تصمیم

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

گیری با شاخص‌های چند گانه «MADM» جای خود را باز کرده‌اند. از این میان روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که ابزاری مناسب برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده و تعیین اولویت برای تصمیم‌گیرنده است [۱۰] را برگزیدیم.

در ابتدا می‌بایست پرسشنامه‌ای برای نظر سنجی از افراد متخصص در زمینه آب و گند زدایی تهیه گردد. اگر پرسشنامه خود را برای ۱۲ معیار بر اساس پرسشنامه استاندارد انجام دهیم، شخصی که پرسشنامه را پر میکند می‌بایست به ۶۶ سوال پاسخ دهد که کار مشکل و وقت‌گیری است. ما برای تسهیل این کار پرسشنامه‌ای ابتکاری تنظیم کردیم که در شکل ۱ آمده است و خروجی آن پس از قرار گیری در ماتریسی که در نرم‌افزار اکسل تهیه کرده‌ایم با پرسشنامه خبره استاندارد برابری میکند (جداول ۴-۵-۶-۷). با جمع‌آوری ۳۴ پرسشنامه در انتها به مقادیر میانگین درجه اهمیت طبق شکل ۱ دست یافتیم.

پرسش نامه اهمیت معیارهای کلرژنی		
میزان تحصیلات تکمیل کننده فرم :		
سابقه فعالیت در زمینه آب‌رسانی :		
لطفا درجه اهمیت هر کدام از معیارهای جدول زیر را با عددی مابین ۱ الی ۱۰ وارد کنید		
ردیف	فاکتور	درجه اهمیت
1	زمان تماس (ثانیه)	5.4706
2	اثر ماندگاری	6.8824
3	عملکرد ضد عفونی	8.8235
4	امکان خطر ایمنی در سایت	7
5	سهولت بهره برداری و تعمیرات	6.4118
6	امکان خطر ایمنی در آب (مواد جانی)	8.6471
7	پراکندگی در ایران	5.1765
8	پراکندگی در اروپا و آمریکا	3.7059
9	وابستگی به بازارهای جهانی	3.6471
10	هزینه اولیه	4.5294
11	هزینه کل پس از گذشت 1 سال	5
12	هزینه کل پس از گذشت 5 سال	4.8824

شکل ۱ - پرسش نامه خبره

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی معیارها به کمک نرم‌افزار اکسل

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.00	1.26	1.61	1.28	1.17	1.58	0.95	0.68	0.67	0.83	0.91	0.89
2	0.79	1.00	1.28	1.02	0.93	1.26	0.75	0.54	0.53	0.66	0.73	0.71
3	0.62	0.78	1.00	0.79	0.73	0.98	0.59	0.42	0.41	0.51	0.57	0.55
4	0.78	0.98	1.26	1.00	0.92	1.24	0.74	0.53	0.52	0.65	0.71	0.70
5	0.85	1.07	1.38	1.09	1.00	1.35	0.81	0.58	0.57	0.71	0.78	0.76
6	0.63	0.80	1.02	0.81	0.74	1.00	0.60	0.43	0.42	0.52	0.58	0.56
7	1.06	1.33	1.70	1.35	1.24	1.67	1.00	0.72	0.70	0.88	0.97	0.94
8	1.48	1.86	2.38	1.89	1.73	2.33	1.40	1.00	0.98	1.22	1.35	1.32
9	1.50	1.89	2.42	1.92	1.76	2.37	1.42	1.02	1.00	1.24	1.37	1.34
10	1.21	1.52	1.95	1.55	1.42	1.91	1.14	0.82	0.81	1.00	1.10	1.08
11	1.09	1.38	1.76	1.40	1.28	1.73	1.04	0.74	0.73	0.91	1.00	0.98
12	1.12	1.41	1.81	1.43	1.31	1.77	1.06	0.76	0.75	0.93	1.02	1.00

جدول ۵- ماتریس مقایسه زوجی هزینه اولیه گزینه‌ها به کمک نرم‌افزار اکسل

آب زاول 15%	یرکلرین 65% (هیدروکلریناتور)	یرکلرین 65% (هیپوکلرید کلریم)	گاز کلر	الکتروکلریناتور (هیپوکلرید سدیم)	الکتروکلریناتور (موتی اکسیدان)
6.25	35.71428571	10.41666667	3.125	1.515151515	1
4.125	23.57142857	6.875	2.0625	1	0.66
2	11.42857143	3.333333333	1	0.484848485	0.32
0.6	3.428571429	1	0.3	0.145454545	0.096
0.175	1	0.291666667	0.0875	0.042424242	0.028
1	5.714285714	1.666666667	0.5	0.242424242	0.16

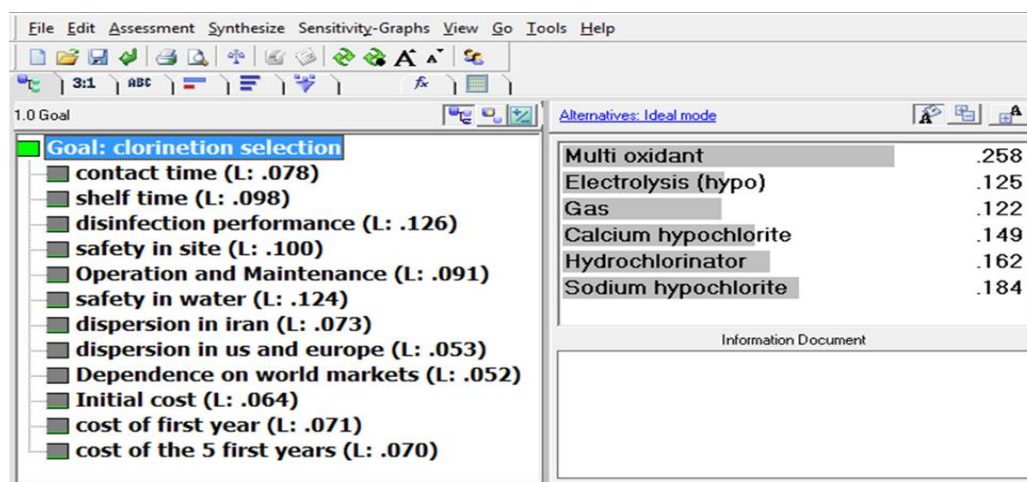
جدول ۶- ماتریس مقایسه زوجی هزینه سال اول گزینه ها به کمک نرم افزار اکسل

آب ژاول 15%	پراکسین 65% (هیدروکلریناتور)	پراکسین 65% (هیپوکلرید کلریم)	گاز کلر	الکترولیز (هیپوکلریت سدیم)	الکترولیز (مولتی اکسیدان)
3.461422622	2.520159244	2.203045567	2.474848467	1.469384415	1
2.355695751	1.715112273	1.499298308	1.684275702	1	0.680557103
1.398640227	1.018308506	0.890173922	1	0.593727024	0.404065143
1.571198832	1.143943312	1	1.123375977	0.666978676	0.453917075
1.373493612	1	0.874169191	0.982020669	0.583052209	0.396800322
1	0.728070368	0.636456685	0.71498015	0.424503037	0.288898557

جدول ۷- ماتریس مقایسه زوجی هزینه سال اول گزینه ها به کمک نرم افزار اکسل

آب ژاول 15%	پراکسین 65% (هیدروکلریناتور)	پراکسین 65% (هیپوکلرید کلریم)	گاز کلر	الکترولیز (هیپوکلریت سدیم)	الکترولیز (مولتی اکسیدان)
1.808522209	0.867859472	0.842400714	1.735308771	1.383763593	1
1.306958947	0.627173223	0.608775024	1.254050027	1	0.722666794
1.042190439	0.500118185	0.48544716	1	0.797416354	0.57626632
2.1468669	1.030221672	1	2.059956434	1.642642949	1.187083514
2.083888311	1	0.970664884	1.999527374	1.594455828	1.152260282
1	0.479872167	0.465795062	0.959517534	0.765134974	0.552937639

در انتها طبق شکل ۲ ماتریس های مقایسه جداول ۴ الی ۷ را وارد نرم افزار اکسپرت چویس کرده و توسط دستور synthesis وزن نهایی معیارها و اولویت بندی گزینه ها را به صورت دسته بندی شده بدست می آوریم (شکل ۲).



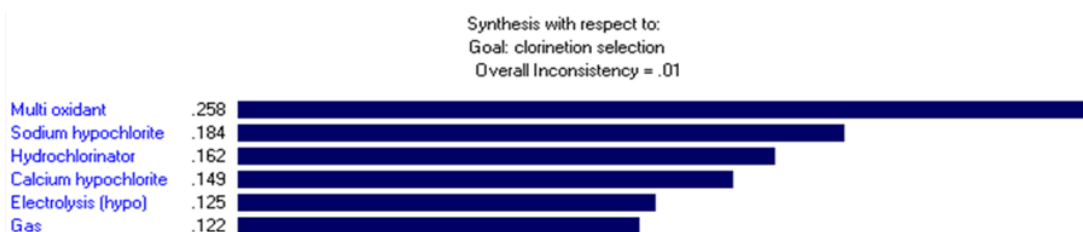
شکل ۲ - محیط نرم افزار expert choice پس از ورود تمام اطلاعات

۶. جمع بندی

با توجه به نتیجه گیری و خروجی نرم افزار اکسپرت چویس روش "الکترولیز مولتی اکسیدانت" بهترین روش و پس از آن "آب ژاول" و "هیدروکلریناتور" اولویت های دوم و سوم از روش های گندزدایی موجود بر اساس مقایسه های فنی و اقتصادی و اهمیت معیارهای موجود بر اساس نظر سنجی از افراد خبره در این امور میباشند (اشکال ۳-۴).



شکل ۳- تعیین ارزش هر معیار توسط نرم افزار expert choice



شکل ۴- تعیین ارزش هر گزینه توسط نرم افزار expert choice

۷. قدردانی

با تشکر از مهندس اردوان الیاسی سرپرست نظارت کارگاهی شرکت مشاور طوس آب در استان گلستان و تمامی کارشناسان و متخصصان این امر که ما را از پیشنهادهای سازنده خود محروم نکردند و با صبر و حوصله پرسشنامه‌ها را تکمیل نموده‌اند و در برطرف کردن کاستی‌های این بررسی و تحقیق کمک شایانی کردند.

۸. مراجع

۱. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۸۶). "استاندارد ۱۰۱۱ - ویژگی‌های میکروبیولوژیکی آب آشامیدنی (ویرایش ششم)"، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. تهران، ایران.
2. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/deaths-attributable-to-unhealthy-environments/en/>
۳. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۸۶). "استاندارد ۱۰۵۳ - ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی (تجدید نظر پنجم)"، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. تهران، ایران.
4. Ede , A ., (2006). *The chemical element: a historical perspective*, Greenwood Press, USA.
5. Black & Veatch Corporation., (2010). *White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*, Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, USA.
6. American Water Works Association(AWWA), *M20 Water Chlorination and Chloramination Practices and Principles*, Second Edition (2006). AWWA,USA.
7. C. Singer, P ., (1999). *Formation and Control of Disinfection By-products in Drinking Water*, AWWA,USA.



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
دانشگاه تهران، تهران
۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



۸. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۹۳). "نشریه ۶۷۳ - دستورالعمل احداث سامانه های کلرزنی در تصفیه خانه های آب و تصفیه خانه های فاضلاب"، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. تهران، ایران.

۹. منزوی، م.ت. (۱۳۷۹). "فاضلاب شهری (جلد اول)"، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.

10. Saaty, T.L. (1980) The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill. International, New York.