

Using Technical and Financial Review and AHP Method to Find the Best Method of the Chlorine-Based Disinfection

Ebrahim Aboutalebi Shakour^{1*} and Hossein Jamshidi²

1- MSc Student, Azad Islamic University, Sari Branch, and Expert in Toos-Ab Consulting Engineers, Gorgan, Iran.

2- MSc Student, Salehan Higher Education Institute, and Project Manager in Golestan Water Authority, Gorgan, Iran.

* Corresponding author, Email: Ebrahim_aboutalebi@yahoo.com

Received: 9/6/2017

Revised: 15/10/2017

Accepted: 16/10/2017

Abstract

In this paper, research on six chlorine-based methods, which is one of the most widely used and effective methods of disinfection, is carried out and the advantages and disadvantages and their comparisons have been investigated. Also a computational program has been produced using Excel software, which will detail the cost of disinfection in different stages to first five years. The goal is to reach the best of the economic and technical landscape which is a concern of many consultants and operators. In order to achieve this goal, some criteria must be determined and evaluated. By producing a questionnaire viewpoints of 34 experts in water, water supply and disinfection systems were collected. Then the importance of each criteria was determined and using AHP method and Expert Choice software electrolysis of sodium chloride (Multi-oxidant), bleach (Sodium hypochlorite as a disinfectant) and hypochlorinator (Calcium hypochlorite) was identified as the best chlorine-based disinfection methods.

Keywords: Chlorine, Disinfection, AHP, Expert Choice.

استفاده از بررسی فنی و مالی و روش AHP برای یافتن بهترین روش گندزدایی بر پایه کلر

ابراهیم ابوطالبی شکور^{۱*} و حسین جمشیدی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی ساری و کارشناس شرکت مهندسی مشاور طوس آب، گرگان، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی صالحان گرگان و مدیر شرکت آب منطقه‌ای گلستان، گرگان، ایران.

* نویسنده مسئول، ایمیل: ebrahim_aboutalebi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۹

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۷/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۲۴

چکیده

در این مقاله تحقیقاتی بر روی ۶ روش بر پایه کلر که از پرکاربردترین و موثرترین روش‌های گندزدایی به‌شمار می‌روند انجام و به بررسی مزایا، معایب و مقایسه آنها پرداخته شده است. همچنین با استفاده از نرم‌افزار اکسل برنامه‌ای محاسباتی که هزینه گندزدایی‌ها در مراحل مختلف تا ۵ سال اول را به تفصیل عرضه خواهد کرد تهیه شده است. هدف، رسیدن به بهترین شیوه از منظر اقتصادی و فنی است که دغدغه بسیاری از مشاوران و بهره‌برداران است. برای رسیدن به این مهم باید معیارهایی تعریف و ارزش‌گذاری شود. با تهیه پرسش‌نامه، نظرات ۳۴ نفر از متخصصین صنعت آب، آبرسانی و گندزدایی آب جمع‌آوری شد. سپس اهمیت معیارهای تصمیم‌گیری مشخص شده و به کمک روش AHP و با مدد گرفتن از نرم‌افزار Expert Choice روش‌های الکترولیز نمک طعام (مولتی اکسیدانت)، آب ژاول و هیپوکلریناتور به‌عنوان بهترین روش‌های گندزدایی بر پایه کلر شناخته شدند.

کلمات کلیدی: کلر، روش‌های گندزدایی، AHP، Expert Choice

علامت اختصاری کلر Cl بوده، عدد اتمی آن ۱۷ و جرم اتمی آن ۳۵/۴۵۳ است (Ede, ۲۰۰۶) و در سال ۱۷۷۴ توسط کارل ویلهلم شیله^۱ (۹ دسامبر ۱۷۴۲ - ۲۱ می ۱۷۸۶) کشف شد (Black and Veatch Corporation, 2010). کلر تقریباً همیشه به صورت یک مولکول با دو اتم کلر پیوند داده با هم و به شکل Cl_۲ 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. امروزه گندزدایی بر پایه کلر به عنوان مناسب ترین و متداول ترین روش گندزدایی آب آشامیدنی در دنیا مورد استفاده قرار می گیرد و در تحقق سلامت میکروبی آب کاملاً مورد تایید سازمان جهانی بهداشت است. برخی از محاسن استفاده از کلر عبارت است از:

- تقریباً بر ضد همه باکتری های بیماری زا تأثیر بالایی دارد؛
- با ایجاد کلر باقی مانده از آلودگی مجدد آب جلوگیری کرده و تولید بیوفیلم ها در شبکه توزیع یا خط انتقال را می کاهد. این کار تقریباً از گندزدهای 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 اکسیدکنندگی بالا، برای مقاصد پیش اکسایش مناسب است.

اما کلر زنی معایبی نیز دارد که محدودیت هایی ایجاد می کند:

- در طی فرآیند گندزدایی محصولات جانبی (DBPs) مانند تری هالومتان ها (THM) و هالواسیتیک اسیدها (HAA) را تولید می کند که اگر از محدوده استانداردهای تعیین شده خارج شود به شدت برای سلامتی مصرف کننده مضر است؛

- با اکسایش برمید به برم، موجب تولید محصولات جانبی آلی برمیزه شده می شود؛

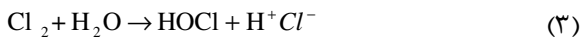
- بر ضد برخی تک یاخته ها مانند کریپتوسپریدیوم مؤثر نیست. علی رغم موارد بالا که ریسک سرطان زایی در مصرف کننده ها را بالا می برد، ریسک مرگ و میر در اثر موارد بیماری زا ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر بیشتر از آن است (AWWA, 2006). با توجه به موارد فوق، سازمان جهانی بهداشت و همچنین سازمان ملی استاندارد ایران با تدوین دستورالعمل های مختلف به صراحت اعلام کرده اند که کلر زنی با در نظر گرفتن استانداردهای موجود برای سالم سازی آب آشامیدنی کاملاً بلامانع است.

مطالعات پژوهش گران پیشین بیان گر این مسئله است که مصرف آب آلوده چه به صورت مستقیم و چه از طریق استفاده از آن برای مقاصد بهداشت فردی یا تفریح می تواند سلامت انسان را به خطر اندازد (استاندارد ۱۰۱۱، ۱۳۸۶). طبق آمار سازمان جهانی بهداشت میزان مرگ و میر بر اثر آب و هوای آلوده سالانه در حدود ۱۲/۶ میلیون نفر است (WHO, 2016). به دلیل اهمیت موضوع در سال ۱۹۷۴ میلادی در آمریکا و ۱۳۴۵ شمسی در ایران نخستین استانداردهای آب آشامیدنی (استاندارد ۱۰۵۳، ۱۳۸۶) تدوین شد. آب مصرفی و یا آشامیدنی آبی است که عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و رادیونوکلوئیدی آن در حدی باشد که مصرف و یا آشامیدن آن عارضه سوئی برای انسان در کوتاه مدت یا درازمدت ایجاد نکند (استاندارد ۱۰۱۱، ۱۳۸۶؛ استاندارد ۱۰۵۳، ۱۳۸۶).

تاکنون تحقیقات گسترده ای بر روی آب و روش های مختلف گندزدایی و تأثیر آن بر سلامت انسان انجام شده است مانند مضرات کلر، چگونگی به حداقل رساندن و حذف مواد جانبی مضر در فرآیندهای کلر زنی، همچنین مقایسه هایی فنی موضوعی به صورت آزمایشگاهی و تئوری و بررسی های شیمیایی و میکروبیولوژی انجام گرفته است. اما خلاء مطالعه ای جامع بر روی تصمیم گیری و یافتن بهترین روش از میان روش های مرسوم کلر زنی که در آن موارد اقتصادی و فنی به صورت توأمان در نظر گرفته شده باشد، تأثیر دادن نظرات بهره برداران و اولیای این امر و همچنین بالا بردن دقت مقایسه به کمک نرم افزارهای تصمیم گیری، انجام نشده است.

هدف از این تحقیق مقایسه فنی و اقتصادی روش های موجود بر پایه کلر و یافتن بهترین روش از میان آن ها و در نهایت رسیدن به آب آشامیدنی سالم با کمترین هزینه و بهره برداری آسان تر است. در ابتدا دید کلی نسبت به کلر و روش های مختلف مورد بحث و هزینه گندزدایی هر مترمکعب آب در روش های گوناگون و شرایط مختلف به دست خواهد آمد. در مرحله بعد از طریق مصاحبه با متخصصین و بهره برداران این امر، معیارهای مهم برای تصمیم گیری شناخته شده و به کمک پرسش نامه ها ارزش گذاری می شوند. در انتها کلیه اطلاعات جمع آوری شده با کمک نرم افزار Expert Choice و ماتریس مقایسات زوجی AHP جمع بندی می شوند.

۳- روش‌های رایج موجود (بر پایه کلر)



۳-۵- هیپوکلریناتور (پرکلرین)

کلسیم هیپوکلریت با فرمول $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ماده‌ای جامد و سفیدرنگ، با بوی تند شبیه به گاز کلر می‌باشد که خورنده است. معمولاً با ۶۵٪ کلر در دسترس و بیشتر به صورت پودر، گرانول یا قرص‌های جامد به فروش می‌رسد، که هر سه به راحتی در آب حل می‌شوند (Singer, 1999). فرآیند زیر در این مسیر شکل می‌گیرد.

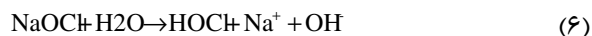


۳-۶- هیدروکلریناتور (پرکلرین)

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

۳-۷- آب ژاول

سدیم هیپوکلریت ماده‌ای شیمیایی با فرمول NaClO که به آن آب ژاول هم گفته می‌شود و به صورت محلول با غلظت کلر فعال تا ۱۵ درصد جرمی عرضه می‌شود. این محلول زلال، کمی متمایل به زرد، به شدت قلیایی و خورنده و دارای بوی شدید کلر است. تجزیه هیپوکلریت کلسیم طبق رابطه (۶) انجام می‌شود (Singer, 1999):



۴- مقایسه روش‌های موجود

۴-۱- مقایسه از دید فنی

در جدول ۱ که به صورت کلامی^۱ تدوین شده (بدین منظور که ورودی مناسبی برای روش تحلیل AHP و نرم‌افزار باشد) ویژگی روش‌های مختلف که از منابع گوناگون استخراج شده است (سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۹۳؛ منزوی، ۱۳۷۹؛ AWWA, 2006) به صورت دسته‌بندی شده آمده است.

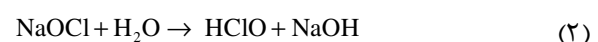
۳-۱- الکترولیز نمک طعام (مولتی اکسیدانت)

گندزدایی آب به روش الکترولیز آب و نمک و تولید مولتی اکسیدانت به عنوان یک روش 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 است، 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 دی‌اکسید کلر محلول، ازن محلول، آب اکسیژنه و اکسیژن محلول در آن وجود دارد.

۳-۲- الکترولیز نمک طعام (هیپوکلریت کلسیم)

آب تصفیه شده با کدورت پایین پس از عمل فیلتراسیون به واحد سختی‌گیری غشایی NF یا RO انتقال می‌یابد و پس از کاهش سختی، با نمک بدون ید مخلوط شده محلول نمک تولید می‌شود. محلول نمک تولیدی وارد سلول الکترولیز نمک شده و در آنجا محلول هیپوکلریت سدیم و گاز هیدروژن تولید می‌شود. در مخزن آرامش پیش از تزریق گاز هیدروژن در بالای مخزن جداسازی شده و به کمک دمنده‌های هوا رقیق‌سازی شده یا به غلظت پایین‌تر از اشتعال رسانده شده و سپس به هوا تخلیه می‌شود.

فرآیندهایی که در این مسیر به وجود می‌آیند به شرح زیر است:



۳-۳- گاز کلر

گاز کلر به صورت مایع در مخازن تحت فشار نگهداری می‌شود. سیستم کلریناتور با برداشتن فشار از روی گاز یا مایع کلر در مخزن (و با کمک دستگاه تبخیرساز در صورت استفاده از مایع برای ظرفیت‌های بالا) دوز مناسب را برای تزریق آماده‌سازی می‌نماید. گاز کلر توسط انژکتور به آب تزریق می‌شود و سپس محلول غلیظ برای گندزدایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآیندهایی که در این مسیر به وجود می‌آیند به شرح زیر است (Singer, 1999):

این معیارهای ۹ گانه برگرفته از تجارب بهره‌برداران، اساتید و متخصصان این امر می‌باشد.

در معیار زمان تماس، که کاملاً به شرایط موجود آب (مانند دما و pH که تاثیرات قابل توجهی بر جای می‌گذارند) بستگی دارد، زمان موجود در شرایط نرمال در نظر گرفته شده است. امکان خطر ایمنی در سایت شامل خطرانی است که در حین بهره‌برداری 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 تری‌هالومتان‌ها) به وجود می‌آورند.

به ترتیب برای ۱۵۰ و ۲۰۰ لیتر در ثانیه به‌عنوان مثال آورده شده، که خروجی برنامه‌ای است که در محیط اکسل نوشته شده است. این برنامه قابل انعطاف بوده و براساس 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 مترمکعب را به‌صورت اتوماتیک و با دقت بالا محاسبه می‌کند. هزینه‌های خرید و مواد اولیه با مشاوره بهره‌برداران محترم و از شرکت‌های فروشنده به‌صورت پیش‌فاکتور اعلام گرفته شده است (استعلام‌ها با گذشت زمان باید به‌روزرسانی شوند).

همان‌طور که مشاهده می‌شود روش گندزدایی آب ژاول در محدوده دبی ۱۵۰ لیتر در ثانیه مقرون به‌صرفه‌ترین روش از

۴-۲- مقایسه از دید اقتصادی

برای مقایسه اقتصادی روش‌های موجود جدول‌های ۲ و ۳

جدول ۱- مقایسه روش‌های گندزدایی از منظر فنی

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

جدول ۲- مقایسه روش‌های گندزدایی از منظر اقتصادی برای دبی ۱۵۰ لیتر در ثانیه (مبالغ به ریال)

آب ژاول ۱۵٪	پرکلرین ۶۵٪ (هیدروکلریناتور)	پرکلرین ۶۵٪ (هیپوکلرید کلسیم)	گاز کلر	الکترولیز (هیپوکلریت سدیم)	الکترولیز (مولتی اکسیدان)	
۴۰	۱۵	۲۰	۶۰	۴۰	۴۰	مساحت مورد نیاز (m ³)
متوسط	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	لوازم استاندارد مورد نیاز
۴۰۰۰۰۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰۰۰۰	۲۴۰۰۰۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۶۵۰۰۰۰۰۰۰	۲۰۵۰۰۰۰۰۰۰۰	هزینه خرید اولیه دستگاه و لوازم مربوط
۱۳۰۳۳	۳۰۷	۳۰۷	۲	۶	۱۴	تزیق مورد نیاز گرم در مترمکعب
۵۰۱۸۳	۱۰۱۹۴	۱۰۱۹۴	۷۷۸	۲۰۳۳۳	۵۰۴۴۳	میزان مواد مصرفی (کیلوگرم در ماه)
۴۵۰۰	۶۵۰۰۰	۶۵۰۰۰	۱۱۰۰۰	۲۰۷۰۰	۲۰۷۰۰	هزینه مواد مصرفی (کیلوگرم ریال)
۲۳۰۳۲۰۱۶۸	۷۷۰۵۸۵۰۴۰	۷۷۰۵۸۵۰۴۰	۸۰۵۵۳۶۰۰	۶۰۲۹۸۰۵۶۰	۱۴۰۶۹۶۶۴۰	هزینه مواد مصرفی در ماه
۱۵۰۰۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰۰۰۰	هزینه بهره‌برداری و پرسنل
۸۵۹۰۸۶۶۰۱۶	۱۰۱۸۱۰۰۲۰۴۸۰	۱۰۳۵۱۰۰۲۰۴۸۰	۱۰۲۰۳۶۴۳۰۲۰۰	۲۰۲۵۵۸۲۰۷۲۰	۲۰۹۷۶۰۳۵۹۰۶۸۰	هزینه کل در سال اول
۲۶۹۹۰۳۳۰۰۸۰	۵۶۲۵۰۱۰۲۰۴۰۰	۵۰۷۹۵۰۱۰۲۰۴۰۰	۲۰۸۱۳۰۲۱۶۰۰۰	۳۰۵۲۷۰۹۱۳۰۶۰۰	۴۰۸۸۱۰۷۹۸۰۴۰۰	هزینه کل در ۵ سال اول
۱۱۶	۲۴۱	۲۴۸	۱۲۱	۱۵۱	۲۰۹	هزینه گندزدایی ۱ مترمکعب در ۵ سال

جدول ۳- مقایسه روش‌های گندزایی از منظر اقتصادی برای دبی ۲۰۰ لیتر در ثانیه (مبالغ به ریال)

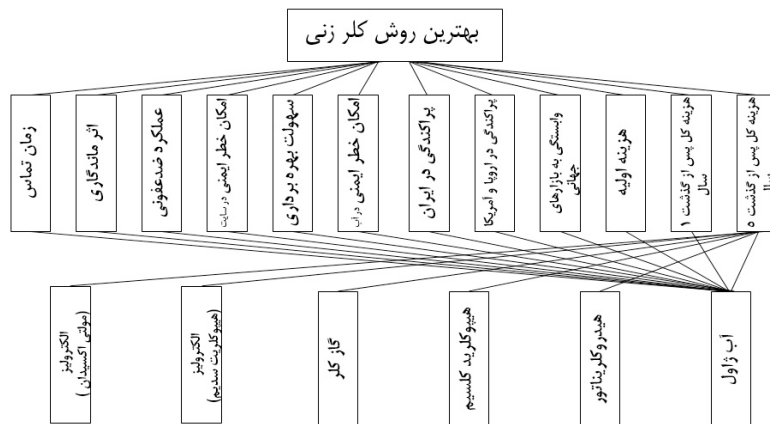
آب ژاول ۱۵٪	پرکلرین ۶۵٪ (هیدروکلریناتور)	پرکلرین ۶۵٪ (هیپوکلرید کلسیم)	گاز کلر	الکترولیز (هیپوکلریت سدیم)	الکترولیز (مولتی اکسیدان)	
۴۰	۱۵	۲۰	۶۰	۴۰	۴۰	مساحت مورد نیاز (m ³)
متوسط	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	زیاد	زیاد	لوازم استاندارد مورد نیاز
۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۷۰,۰۰۰,۰۰۰	۲۴۰,۰۰۰,۰۰۰	۸۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱,۶۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۲,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰	هزینه خرید اولیه دستگاه و لوازم مربوط
۱۳,۳۳	۳,۰۷	۳,۰۷	۲	۶	۱۴	تزیق مورد نیاز گرم در مترمکعب
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
۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۱۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۵,۰۰۰,۰۰۰	۲۵,۰۰۰,۰۰۰	هزینه بهره برداری و پرسنل
۹۵۳,۱۵۴,۶۸۸	۱,۴۹۱,۳۶۰,۶۴۰	۱,۴۹۱,۳۶۰,۶۴۰	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 گندزایی ۱ مترمکعب در ۵ سال

استفاده شود.

۵- نتایج

برای نتیجه‌گیری کلی با توجه به یکسان نبودن واحد و کمی و کیفی بودن معیارهای مطرح شده، از علم تصمیم‌گیری و آمار استفاده می‌شود. در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود و یا اولویت‌بندی راهکارها مطرح است، چند سالی است که روش‌های تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه^۳ جای خود را باز کرده‌اند. از این میان روش تحلیل سلسله مراتبی^۴ که ابزاری مناسب برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده و تعیین اولویت برای تصمیم‌گیرنده است (Saaty, 1980) محبوب‌ترین و کاربردی‌ترین روش است. اساس این شیوه بر مقایسه زوجی استوار است. در ابتدا معیارها و گزینه‌ها دسته‌بندی می‌شود. ساختار سلسله مراتبی این

میان روش‌های موجود برای مدت یک سال و همچنین تا افق ۵ سال است. روش گندزایی آب ژاول در محدوده دبی ۲۰۰ لیتر در ثانیه مقرون به صرفه‌ترین روش در سال اول و گاز کلر در افق ۵ سال اول مقرون به صرفه‌ترین شیوه هستند. با بررسی دبی‌های مختلف این نتیجه به دست می‌آید که برای تصمیم‌گیری از منظر اقتصادی، دبی طرح نقش اصلی را ایفا می‌کند و برای هر محدوده دبی، روش متفاوتی صرفه اقتصادی پیدا می‌کند. 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 پیش‌بینی نشده است و با دانستن قیمت زمین می‌توان آن را در محاسبات لحاظ کرد. فاکتورهای زیست‌محیطی و فنی نیز در این بخش از مقایسه لحاظ نشده و نتیجه‌گیری تنها از نقطه نظر اقتصادی بررسی شده است. به طور مثال پرواضح است که از روش کلر زنی گازی در محدوده شهری به دلیل خطرات احتمالی آن نباید



شکل ۱- نمونه ساختار سلسله‌مراتبی روش‌های گندزایی و معیارها

مطالعه در شکل ۱ قابل مشاهده است که در سطر اول هدف، در سطر دوم معیارها و در سطر سوم گزینه‌های حل مسئله به صورت شماییک آمده است. به دلیل کمبود فضا دو نمونه مقایسه زوجی در آن انجام گردیده است.

در ادامه باید پرسش‌نامه‌ای برای نظرسنجی از افراد متخصص در زمینه آب و گندزدایی تهیه شود. اگر پرسش‌نامه برای ۱۲ معیار به‌طور استاندارد انجام شود، شخصی که پرسش‌نامه را پر می‌کند باید به ۶۶ سوال پاسخ دهد که بسیار وقت‌گیر است و احتمال خطای انسانی بسیار بالا می‌رود. برای تسهیل این کار پرسش‌نامه‌ای ابتکاری تنظیم شده که خروجی آن پس

پرسش‌نامه اهمیت معیارهای کلرزنی		
میزان تحصیلات تکمیل‌کننده 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
۱	زمان تماس (ثانیه)	۵/۴۷
۲	اثر ماندگاری	۶/۸۸
۳	عملکرد ضدعفونی	۸/۸۲
۴	امکان خطر ایمنی در سایت	۷
۵	سهولت بهره‌برداری و تعمیرات	۶/۴۱
۶	امکان خطر ایمنی در آب (مواد جانی)	۸/۶۵
۷	پراکندگی در ایران	۵/۱۸
۸	پراکندگی در اروپا و آمریکا	۳/۷۱
۹	وابستگی به بازارهای جهانی	۳/۶۵
۱۰	هزینه اولیه	۴/۵۳
۱۱	هزینه کل پس از گذشت ۱ سال	۵
۱۲	هزینه کل پس از گذشت ۵ سال	۴/۸۸

شکل ۲- اهمیت معیارها و پرسش‌نامه خبره جمع‌آوری شده از متخصصین امر

از قرارگیری در ماتریسی که در نرم‌افزار اکسلی که برای این منظور تهیه شده است با پرسش‌نامه استاندارد برابری می‌کند. با جمع‌آوری ۳۴ پرسش‌نامه در انتها مقادیر میانگین درجه اهمیت طبق شکل ۲ به‌دست آمده است.

پس از وارد کردن تمامی اطلاعات در نرم‌افزار Expert Choice و طی مراحل مختلف در محیط نرم‌افزار، در انتها خروجی طبق شکل‌های ۳ و ۴ به‌صورت دسته‌بندی شده به‌دست می‌آید. وزن نهایی معیارها نشان‌دهنده این است که هر معیار دارای چه ارزشی می‌باشد و در تصمیم‌گیری نشان‌دهنده این است که عملکرد ضدعفونی و امکان خطر ایمنی در آب، نسبت به معیار وابستگی به بازارهای جهانی از اهمیت بالاتری برخوردار است. اولویت‌بندی گزینه‌ها نیز روش‌های مختلف را براساس ارزش مرتب‌سازی کرده است.

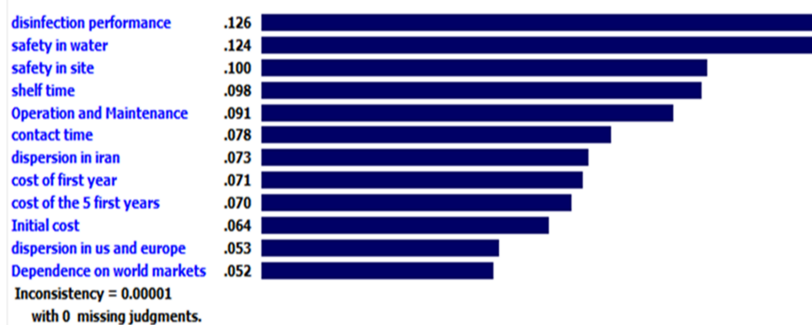
۶- جمع‌بندی

با توجه به نتیجه‌گیری و خروجی نرم‌افزار Expert Choice روش «الکترولیز مولتی اکسیدانت» بهترین روش و پس از آن «آب ژاول» و «هیدروکلریناتور» اولویت‌های دوم و سوم از روش‌های گندزدایی موجود با توجه به جمع‌بندی مقایسه‌های فنی، اقتصادی و اهمیت معیارهای موجود براساس نظرسنجی از افراد خبره در این امور هستند.

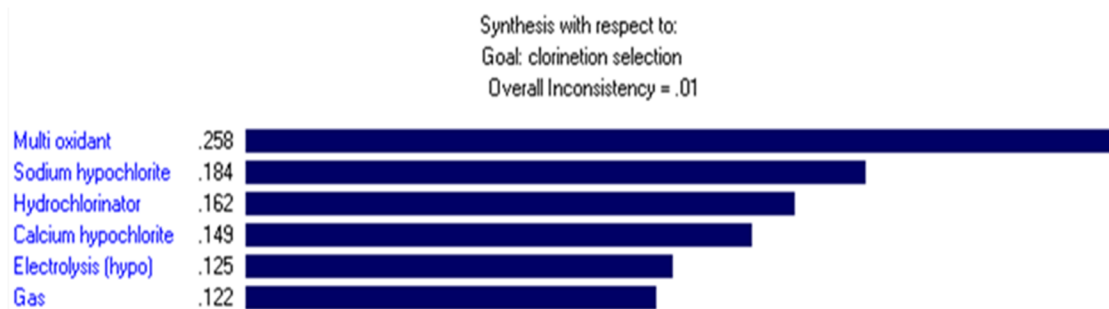
۷- قدردانی

از گروه هم‌اندیشی واحد آبرسانی شرکت آب منطقه ای استان

Priorities with respect to:
Goal: chlorination selection



شکل ۳- تعیین ارزش هر معیار توسط نرم‌افزار Expert Choice



شکل ۴- تعیین ارزش هر گزینه توسط نرم افزار Expert Choice

Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.
Singer, P., (1999), *Formation and control of disinfection by-products in drinking water*, AWWA, USA.
Ede, A., (2006), *The chemical element: a historical perspective*, Greenwood Press, USA.
Saaty, T.L., (1980), *The analytic hierarchy process*, McGraw Hill International, New York, USA.
WHO, (2016), "Deaths attributable to unhealthy environments", Visited 15 March 2016, <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/deaths-attributable-to-unhealthy-environments/en/>

گلستان، مهندس اردوان البیاسی سرپرست نظارت کارگاهی شرکت مشاور طوس آب و تمامی کارشناسان و متخصصان این امر که ما را از پیشنهادهای سازنده خود محروم نکرده، با صبر و حوصله پرسشنامهها را تکمیل نموده و در برطرف کردن کاستیهای این بررسی و تحقیق کمک شایانی کردند تقدیر و تشکر می شود.

۸- پی نوشتها

- 1- Carl Wilhelm Scheele
- 2- Verbal
- 3- MADM
- 4- AHP

۹- مراجع

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۹۳)، "دستورالعمل احداث سامانههای کلرزنی در تصفیهخانههای آب و تصفیهخانههای فاضلاب"، نشریه ۶۷۳، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، تهران، ایران.
منزوی، م.ت.، (۱۳۷۹)، *جمع آوری فاضلاب*، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۸۶)، *ویژگیهای میکروبیولوژیکی آب آشامیدنی*، استاندارد ۱۰۱۱، ویرایش ششم، تهران، ایران.
موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، (۱۳۸۶)، *ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی*، استاندارد ۱۰۵۳، ویرایش پنجم، تهران، ایران.
American Water Works Association (AWWA), (2006), *Water chlorination and chloramination practices and principles*, M20, Second Edition, AWWA, USA.
Black and Veatch Corporation, (2010), *White's handbook of chlorination and alternative disinfectants*,