

# A Model for Quantitative Performance Evaluation of Water Treatment Plants

*M. Bahramnia<sup>1</sup>, E. Derikvand<sup>2</sup>*

1. MSc Student, Faculty of Water Science, Islamic Azad University, Shoushtar Branch, Shoushtar, Iran  
(Corresponding Author) mohammad.bahramnia68@gmail.com
2. Assist. Prof., Water and Environmental Science Research Center, Islamic Azad University, Shoushtar Branch, Shoushtar, Iran

*(Received Nov. 30, 2016 Accepted Apr. 29, 2017)*

#### To cite this article :

Bahramnia, M., Derikvand, E., 2018, "A Model for quantitative performance evaluation of water treatment plants." Journal of Water and Wastewater, (In press). Doi: 10.22093/wwj.2017.69227.2297 (In Persian)

#### Abstract

Nowadays at the same time with population growth in urban areas, healthy potable water supply has become a challenge especially in arid and semi-arid countries who intend to fulfil a sustainable development. Due to the increasing importance of water treatment and its key role throughout the world, improvement of water treatment plants is becoming more visible. In this research, the criteria and effective factors influencing the quantitative performance evaluation of three treatment plants were investigated using AHP approach. The three treatment plants used in this study were selected from three provinces in Iran including Hamedan, Ilam and Kermanshah. The model performance were quantitatively evaluated by using the physical, chemical, and biological characteristics of effluent data. Model performance evaluation revealed that E. Coli; turbidity; ammonia, nitrate and nitrite is most important microbiological, physical, and chemical water quality parameters when assessing the performance of effluent quality of treatment plants. Based on the the evaluated results, the performance of treatment plants in Kermanshah was better than the other two treatment plants. It will also be equally important to indicate that if any of the treatment plants met the effluent standards set by the Iranian authorities.

**Keywords:** Water Quality, Treatment Plant, Water Pollutants, Water Properties, AHP.



# ارائه مدلی برای ارزیابی کیفیت عملکردی تصفیه‌خانه‌های آب

محمد بهرام نیا<sup>۱</sup>، احسان دریکوند<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم آب، دانشگاه آزاد واحد شوشتر، شوشتر، ایران  
(نویسنده مسئول) mohammad.bahramnia68@gmail.com

۲- استادیار، مرکز تحقیقات علوم آب و محیط زیست، دانشگاه آزاد واحد شوشتر، شوشتر، ایران

(دریافت ۹۵/۹/۱۰ پذیرش ۹۶/۲/۹)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

بهرام نیا، م.، دریکوند، ا.، ۱۳۹۷، "ارائه مدلی برای ارزیابی کیفیت عملکردی تصفیه‌خانه‌های آب"  
مجله آب و فاضلاب، (در انتظار چاپ). Doi: 10.22093/wwj.2017.69227.2297

## چکیده

امروزه همزمان با رشد روز افزون جمعیت در جوامع شهری، تأمین آب شرب سالم و بهداشتی از جمله چالش‌های پیش روی کشورهای خشک و کم آب در جهت حرکت به سمت توسعه پایدار است. با توجه به اهمیت روز افزون تصفیه آب و نقش آن در دنیا، بهبود و بالا بردن کیفیت عملکرد تصفیه‌خانه‌ها بیشتر نمایان می‌شود. در این پژوهش با استفاده از فرایند تحلیل سلسه مراتبی روش AHP به بررسی معیارها و عوامل تأثیرگذار در عملکرد تصفیه‌خانه‌های آب بکار گرفته شد. برای بررسی این مدل جامع، کیفیت عملکرد سه تصفیه‌خانه در استان‌های همدان، ایلام و کرمانشاه بررسی شد. عملکرد تصفیه‌خانه‌ها براساس آمارهای به‌دست آمده از شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و در سه بخش فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی برآورد شد و براساس استاندارد ملی ایران مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. برای انجام آزمایش‌ها در مدت سه ماه از هر تصفیه‌خانه ۳ بار نمونه برداری انجام شد. در بررسی‌های انجام شده مشاهده شد که در بین پارامترهای میکروبی، باکتری‌های گرم‌پای (E.Coli) و در بین ویژگی‌های فیزیکی، کدورت بیشترین اهمیت را دارد. همچنین آمونیاک، نیترات و نیتريت مهم‌ترین ویژگی‌های آلاینده‌های شیمیایی آب می‌باشند. نتایج نشان داد کیفیت آب خروجی تصفیه‌خانه آب کرمانشاه بهترین کیفیت را در بین تصفیه‌خانه‌های مورد آزمایش دارد.

**واژه‌های کلیدی:** کیفیت آب، تصفیه‌خانه، آلاینده‌های آب، ویژگی‌های آب، AHP

## ۱- مقدمه

است. رشد روز افزون جمعیت و به دنبال آن افزایش نیاز به امکانات و مواد اولیه باعث شده است که آب‌های زیرزمینی و سطحی با مواد شیمیایی جدیدی آلوده شده و با گذشت زمان مخازن آب سالم و گوارا به تدریج آلوده شده و کیفیت آب به‌خصوص منابع محدود آب شیرین کاهش یابد (Guangming et al., 2007, Handfield et al., 2002, Rossman, 1980). محدود بودن میزان منابع آب شیرین در جهان و افزایش آلودگی این منابع به دلیل رشد روز افزون جمعیت، توسعه صنایع و

امروزه اهمیت آب در توسعه کشورها به حدی است که از آن به‌عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه پایدار یاد می‌شود. بحران آب مهم‌ترین چالش جهانی قرن بیست و یکم است که می‌تواند سر منشأ بسیاری از تحولات جهان قرار گیرد. ایران از جمله کشورهایی است که در اقلیم جهانی خشک و نیمه خشک قرار دارد. البته ایران از گذشته تا به حال ابداعات متنوعی در زمینه بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در ابعاد سازه‌ای و مدیریتی داشته



عملکردی تصفیه‌خانه‌های آب، برای بهبود و کنترل کیفیت در فرایند تصفیه آب صورت پذیرفته است (Stringfellow et al., 2016, García et al., 2016, Mok et al., 2016). در پژوهش‌های گذشته فقط یک یا چند جنبه محدود از معیارهای کیفیت آب (فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژی) و یا زیر معیارهای آن‌ها مورد بررسی و پژوهش قرار گرفته است. به گونه‌ای که پژوهش یکپارچه و طبقه‌بندی شده‌ای که تمام فاکتورها و زیر معیارهای هر سه ویژگی فیزیکی، شیمیایی و میکروبی را به طور کامل مورد بررسی و مقایسه قرار داده باشد، وجود ندارد. به طور مثال سلیمانی و همکاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی کیفیت میکروبی آب آشامیدنی پرداختند (Solaimani Sardo et al., 2013). نوروزی و همکاران در سال ۲۰۱۳ پژوهشی بر روی آنالیز پارامترهای شیمیایی آب انجام دادند (Noroozi et al., 2013). از آنجا که رودخانه‌ها یکی از منابع آبی بسیار مهم و کاربردی محسوب می‌شوند و ورود آلاینده‌ها به آن موجب تغییرات فیزیکی و شیمیایی آنها می‌شود، عباسپور و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی و تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه خرسان پرداختند (Abbaspour et al., 2014). همچنین محمدی و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی منابع آبی قابل شرب زیرزمینی پرداختند (Mohammadi et al., 2015). دارابی و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی آب شرب پرداختند ولی مطالعات آن‌ها محدود به بررسی مؤلفه‌های اصلی کیفی آب بود (Darabi et al., 2014). این امر مانع بررسی و مقایسه یکپارچه و کامل به طور همزمان بر روی تمام عوامل و پارامترهای کیفیت تصفیه‌خانه‌ها می‌شود. در این پژوهش با در نظر گرفتن تمام جوانب، خصوصیات، معیارها و زیر معیارهای تأثیرگذار در بحث عملکرد تصفیه‌خانه‌های آب، مدلی جامع برای بررسی کیفیت عملکرد تصفیه‌خانه‌های آب ارائه شد و در نهایت وضعیت کیفی عملکرد تصفیه‌خانه‌های آب استان همدان، کرمانشاه و ایلام مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- روش و بررسی پارامترها

با تکیه بر آمارهای اخذ شده از شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، وضعیت عملکردی تصفیه آب در تصفیه‌خانه‌های آب استان همدان، کرمانشاه و ایلام از لحاظ ویژگی‌های خروجی آب، فرایندهای انجام شده و منبع آلودگی مورد بررسی کیفی قرار

افزایش فعالیت‌های کشاورزی، توجه بیشتری را به منابع آبی موجود معطوف می‌نماید. یکی از مهم‌ترین بخش‌های تأمین آب در مناطق شهری تصفیه‌خانه‌ها هستند که نقش بسیار مهمی در بهبود کیفیت آب و کاهش میزان آلودگی منابع آبی دارند. این تأسیسات به لحاظ محدودیت ظرفیت و همچنین اهمیت بسیار بالا در حفظ سلامت و بهداشت آب قابل تأمین برای مصرف، نقش کلیدی در امنیت آبی دارند. یکی از مهم‌ترین موضوعات در بحث کنترل کیفیت آب تصفیه‌خانه‌ها، بررسی معیارهایی به منظور ارزیابی کیفیت منابع آب حاصل از فرایندهای انجام شده در تصفیه‌خانه است (Tsagarakis et al., 2003, Tsiporkova and Boeva, 2006, Dabaghian et al., 2008, Mianabadi and Afshar, 2008). در این پژوهش به بررسی و ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه در کنترل کیفیت منابع آبی پرداخته شد. مدل‌سازی براساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> انجام شد. انتخاب معیارها بخش اول تجزیه و تحلیل AHP است. سپس بر اساس معیارهای شناسایی شده کاندیدها ارزیابی می‌شوند. در ارزیابی هر موضوعی به شاخص اندازه‌گیری نیاز است. انتخاب شاخص مناسب این امکان را می‌دهد که مقایسه درستی بین جایگزینی‌ها صورت گیرد. اما وقتی که چند یا چندین شاخص برای ارزیابی در نظر گرفته می‌شود، کار ارزیابی پیچیده می‌شود و پیچیدگی کار زمانی بالا می‌گیرد که معیارهای چند یا چندین گانه باهم در فضا و از جنس‌های مختلف باشند (Perez et al., 2007, Boroushaki, 2008). در این هنگام کار ارزیابی و مقایسه از حالت ساده تحلیلی که ذهن قادر به انجام آن است، خارج می‌شود و به یک ابزار تحلیل عملی قوی نیاز خواهد بود. یکی از ابزارهای توانمند برای چنین وضعیت‌هایی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی است. این روش برای سطح‌بندی و درجه‌بندی و گاهی برای تحلیل‌های اجتماعی و اقتصادی نیز ممکن است به کار رود. روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر و تصمیم‌گیری و اولویت دادن به آن‌ها آغاز می‌شود به طوری که این عناصر شامل شیوه‌های مختلف انجام کار و اولویت دادن به سنج‌ها یا ویژگی‌ها می‌باشد (Mahmoodzadeh et al., 2007, Lee, 2008). با توجه به اهمیت بالای کیفیت آب و نقش کلیدی آن در سلامت جامعه در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی در زمینه ارزیابی

<sup>1</sup> Analytical Hierarchy Process (AHP)



آب)، سطح معیارها (شاخص‌ها و پارامترهای کیفیت آب)، سطح زیر معیارها (شامل زیر معیارهای مربوط به پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) و سطح گزینه‌های انتخابی می‌باشد. در شکل ۱ فلوچارت این پروژه نشان داده شده است.

## ۱-۲- خصوصیات کیفی آب و تعریف پارامترهای مورد اهمیت

مقدار مجاز و مطلوب پارامترهای فیزیکی در آب آشامیدنی بر اساس موسسه استاندارد صنعتی ایران - استاندارد ۱۰۵۳- (ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی، ۱۳۸۸) در جدول ۱ به اختصار آمده است.

گرفت. در برخی موارد کارایی روش‌های مورد استفاده در تصفیه‌خانه، مورد بررسی قرار گرفته و در موارد خاص پیشنهادات لازم برای بهبود عملکرد آن‌ها ارائه شد. به‌منظور شناخت کیفیت آب لازم است پارامترهای تأثیرگذار مورد ارزیابی قرار گیرد. مهم‌ترین پارامترها عبارت‌اند از پارامترهای فیزیکی (شامل جامدات معلق، کدورت، رنگ، طعم و بو، دما)، پارامترهای شیمیایی (شامل جامدات محلول، قلیائیت، سختی، مواد آلی و فلزات سنگین) و پارامترهای میکروبیولوژیکی (میکرو ارگانیسم‌های بیماری‌زا، باکتری‌ها، ویروس، تک یاخته‌ها، جلبک‌ها و قارچ‌ها).

پس از بررسی شاخص‌های کیفیت آب در مراحل مختلف تصفیه از جمله زلال‌سازی، فیلتراسیون و نیز گندزدایی اقدام به تشکیل مدل شد. مدل‌سازی بر اساس فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام شد که دارای چند سطح، شامل سطح هدف (کنترل کیفیت

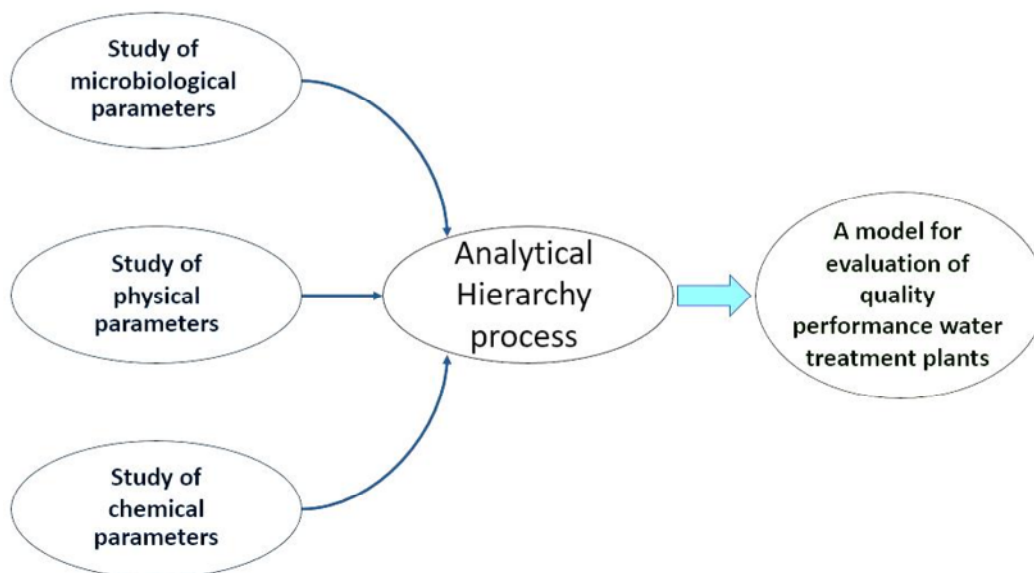


Fig. 1. Project flowchart  
شکل ۱- نمای کلی (فلوچارت) پروژه

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی آب آشامیدنی

Table 1. Physical properties of drinking water

Row	Property	Desired value	Allowed value	Measurement unit
1	Turbidity	Less than or equal to 1	Less than 5	NTU
2	Color	-	Less than 15	TCU
3	Odor	Maximum two units at 12° and maximum three units at 25°	-	TOC
4	pH	6.5-8.5	6.5-9	-



جدول ۲- حد مجاز و مطلوب مواد شیمیایی معدنی و غیر سمی موجود در آب آشامیدنی بر حسب میلی‌گرم در لیتر

**Table 2.** Maximum desired and allowed values of minerals and non-toxic chemicals in drinking water (mg/L)

Row	Composition	Unit	Maximum desired (mg/L)	Maximum allowed (mg/L)
1	Total Dissolved Solids	TDS	1000	1500
2	Total hardness	CaCO <sub>3</sub>	200	500
3	Chloride	Cl	250	400
4	Sulfate	SO <sub>4</sub>	250	400
5	Hydrogen sulfide	H <sub>2</sub> S	0.05	-
6	Iron	Fe	0.3	-
7	Manganese	Mn	0.1	0.4
8	Aluminum	Al	0.1	0.1-0.2
9	Zink	Zn	3	-
10	Copper	Cu	1	2
11	Nitrate	NO <sub>3</sub>	-	50
12	Nitrite	NO <sub>2</sub>	-	3
13	Calcium	Ca	300	-
14	Magnesium	Mg	30	-
15	Ammonia	NH <sub>3</sub>	1.5	-
16	Fluoride	F	0.5	1.5
17	Sodium	Na	200	200

به‌عنوان آزمون برای ارزیابی فرایند‌گندزدایی آب در مخازن نیز محسوب می‌شود. مقدار مطلوب پارامترهای میکروبیولوژی در آب آشامیدنی بر اساس استاندارد ملی به شماره ۱۰۱۱ در جدول ۳ به اختصار آمده است.

جدول ۳- حد مطلوب پارامترهای میکروبیولوژی در آب آشامیدنی

**Table 3.** Maximum allowed values of microbiological parameters in potable water

Type of water	Type of bacteria	Maximum, of allowed in 100 ml	Test method
	coliforms	negative	National standard 1011
All of drinking waters	E. Coli	negative	National standard 1011
	HPC*	Less than 200 CFU/ml	National standard 1011

\* Heterotrophic Plate Count

## ۲-۲- اولویت‌بندی خصوصیات کیفی آب و اهمیت

### پارامترهای مورد سنجش

همانطور که ذکر شد پس از بررسی‌های کتابخانه‌ای و میدانی، ویژگی‌های کیفی آب در سه بخش فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی استخراج شد و بر اساس استاندارد ملی ایران مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. در بررسی عملکردی هر سه

از خصوصیات شیمیایی آب می‌توان به‌سختی اشاره کرد که در مقادیر بیش از حد، می‌تواند اثرات منفی متعددی چون افزایش مصرف صابون، ایجاد لکه بر روی ظروف، دیرپز شدن و ترکیدگی دیگ‌های بخار و را به دنبال داشته باشد. برای هر یک از این پارامترها، در استاندارد ایران و جهان مقادیر مشخصی تعیین شده است. حد مجاز و مطلوب مواد شیمیایی معدنی و غیر سمی موجود در آب آشامیدنی بر حسب میلی‌گرم در لیتر و بر اساس مؤسسه استاندارد صنعتی ایران - استاندارد ۱۰۵۳- (ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی، ۱۳۸۸) در جدول ۲ به اختصار آمده است. کلیفرم‌ها بهترین باکتری‌های نشانگر برای آزمایش باکتری‌شناسی آب و شاخصی برای تشخیص آلودگی باکتریایی در آب‌های آشامیدنی‌اند. آزمون وجود کلیفرم در آب چند مرحله است که غالباً مراحل احتمالی و تأییدی آن در آزمایشگاه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب به‌عنوان آزمایش‌های روزانه انجام می‌شود. یکی دیگر از آزمون‌های آزمایشگاه‌های باکتری‌شناسی آب آزمون هتروتروفیک پلیت کانت یا آزمون شمارش بشقابی ارگانیسیم‌های هتروتروف است. این آزمون تعداد باکتری‌های زنده را با قرار گرفتن در محیط و دمای خاص نشان می‌دهد و به‌عنوان یکی از شاخص‌های آلودگی ثانویه آب پس از تصفیه و در سیستم توزیع می‌باشد. همچنین



از تحلیل واریانس استفاده می‌شود. در واقع این آزمون، تعمیم یافته آزمون تی است و برای ارزیابی یکسان بودن یا یکسان نبودن چند جامعه به کار می‌رود. این آزمون با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۰ انجام شد. در جدول ۵ نتایج آزمون تحلیل واریانس آورده شده است.

در این پژوهش به جهت فرض بر اطمینان ۹۵ درصد، بررسی معنی‌داری انجام شد. در ستون تفاوت معنی‌دار، ویژگی‌هایی که معنی‌داری آن‌ها احراز شده است، با عدد یک و در صورت عدم معنی‌داری با عدد صفر مشخص شده‌اند. به عبارت دیگر عدد ۱ به معنای تفاوت معنی‌دار است، و به‌عنوان معیاری جهت ارزشیابی و اولویت‌بندی عملکردی قرار می‌گیرد. بنابراین به‌منظور سنجش اولویت‌ها در مدل‌سازی فقط از ویژگی‌های با تفاوت معنی‌دار استفاده شد. ویژگی‌هایی که در آزمون تحلیل واریانس، معنی‌دار شناخته شدند، به‌عنوان معیارهای مورد بررسی در سه بخش فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی تصفیه‌خانه می‌باشد. از نرم‌افزار سوپردسیژن برای انجام محاسبات تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است (شکل ۲).

تصفیه‌خانه در سه ماه مجزا و به‌طور مشخص فروردین، مرداد و آذر سال ۱۳۹۴ به‌عنوان ماه‌های پر مصرف جهت اخذ نمونه‌های آزمایش انتخاب شد. از هر تصفیه‌خانه در مدت سه ماه نمونه برداشت شد و جمعاً ۹ نمونه آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها برای هر تصفیه‌خانه به‌صورت میانگین وزنی به یگانگی رسید. میانگین وزنی هر تصفیه‌خانه با استفاده از مترمکعب خروجی هر تصفیه‌خانه در ماه مورد آزمایش به‌دست آمد. نتایج میانگین وزنی هر سه آزمایشگاه در جدول ۴ مشاهده می‌شود. مدل‌سازی بر اساس خواصی است که تفاوت معنی‌داری در هر سه تصفیه‌خانه دارند، به‌عبارتی قابلیت مقایسه با یکدیگر را دارا باشند؛ این موضوع منوط به این است که تفاوت بین سه عدد به‌دست آمده از میانگین وزنی تصفیه‌خانه‌ها با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشته باشد. بنابراین از آزمون تحلیل واریانس برای بررسی معنی‌داری تفاوت بین ویژگی‌های مختلف بین نتایج میانگین‌های وزنی استفاده شد. آزمون تی یکی از روش‌های آماری پارامتری است که به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن آماری تفاوت بین دو گروه مورد استفاده قرار می‌گیرد، ولی به‌منظور بررسی اختلاف میانگین چند جامعه آماری

جدول ۴- نتایج میانگین وزنی هر سه آزمایشگاه ایلام، کرمانشاه و همدان در سه ماه مورد آزمایش

**Table 4.** The weighted average laboratory results obtained during three months from Ilam, Hamedan and Kermanshah treatment plants

	Ilam	Kermanshah	Hamedan
Temperature (°C)	13.8	16.5	12
pH	7.95	7.73	7.9
Turbidity (NTU)	0.79	0.64	0.55
Residual chlorine (mg/L)	1	0.85	1
HPC (CFU/mL)	7	5	2
TDS (mg/L)	295	270	343
Fluorine (mg/L)	0.3	0.08	0.35
Chloride (mg/L)	12.6	12	11
Sulfate (mg/L)	83	17	125
Nitrate (mg/L)	6	9	8
Nitrite (mg/L)	0.008	0	0.002
Phosphate (mg/L)	0.009	0.018	0.008
Calcium (mg/L)	60	83	68
Magnesium (mg/L)	17.5	9	21
Sodium (mg/L)	9.2	5	7.3
Potassium (mg/L)	0.16	0.4	0.18
Iron (mg/L)	0.07	0	0.05
Manganese (mg/L)	0.01	0	0.002
Total hardness (mg/L)	220	240	256
Total alkalinity (mg/L)	136	210	126
Ammonia (mg/L)	0	0.002	0
E. Coli (MPN/100 ml)	95.03	99.96	98.76
Coliforms (MPN/100 ml)	0.00023	0.0001	0.0009



جدول ۵- تحلیل آماری و آزمون تحلیل واریانس

Table 5. Statistical analysis and variance analysis

Property	Ilam	Kermanshah	Hamedan	Number of sample	Average	Standard deviation	The average standard deviation	Variance	Degrees of freedom	Sig	Average difference	Meaningful difference
Temperature (°C)	13.8	16.5	12	3	14.10	2.26	1.30	10.78	2	0.008	14.10	1
pH	7.95	7.73	7.9	3	7.86	0.11	0.06	118.04	2	0.000	7.86	1
Turbidity (NTU)	0.79	0.64	0.55	3	0.66	0.12	0.07	9.42	2	0.01	0.66	1
Residual chlorine (mg/L)	1	0.85	1	3	0.95	0.08	0.05	19.00	2	0.003	0.95	1
HPC	7	5	2	3	4.67	2.51	1.45	3.21	2	0.08	4.66	0
TDS (mg/L)	295	270	343	3	302.67	37.09	21.41	14.13	2	0.005	302.66	1
Fluorine (mg/L)	0.3	0.08	0.35	3	0.24	0.14	0.08	2.93	2	0.09	0.24	0
Chloride (mg/L)	12.6	12	11	3	11.87	0.80	0.46	25.42	2	0.002	11.86	1
Sulfate (mg/L)	83	17	125	3	75.00	54.44	31.43	2.38	2	0.14	75.000	0
Nitrate (mg/L)	6	9	8	3	7.67	1.52	0.88	8.69	2	0.013	7.66	1
Nitrite (mg/L)	0.008	0	0.002	3	0.00	0.004	0.002	1.38	2	0.30	0.003	0
Phosphate (mg/L)	0.009	0.018	0.008	3	0.01	0.006	0.003	3.66	2	0.06	0.01	0
Calcium (mg/L)	60	83	68	3	70.33	11.67	6.74	10.43	2	0.009	70.33	1
Magnesium (mg/L)	17.5	9	21	3	15.83	6.17	3.56	4.44	2	0.04	15.83	1
Sodium (mg/L)	9.2	5	7.3	3	7.17	2.10	1.21	5.90	2	0.02	7.16	1
Potassium (mg/L)	0.16	0.4	0.18	3	0.25	0.13	0.07	3.20	2	0.08	0.24	0
Iron (mg/L)	0.07	0	0.05	3	0.04	0.03	0.02	1.92	2	0.19	0.04	0
Manganese(mg/L)	0.01	0	0.002	3	0.00	0.005	0.003	1.30	2	0.32	0.004	0
Total hardness (mg/L)	220	240	256	3	238.67	18.03	10.41	22.91	2	0.002	238.66	1
Total alkalinity (mg/L)	136	210	126	3	157.33	45.88	26.49	5.93	2	0.02	157.33	1
Ammonia (mg/L)	0	0.002	0	3	0.00	0.001	0.001	1.00	2	0.42	0.001	0
E. Coli (MPN/100ml)	95.03	99.96	98.76	3	97.86	2.55	1.47	66.31	2	0.00	99.86	1
Coliforms (MPN/100ml)	0.00023	0.0009	2	3	0.0004	0.00043	0.00025		2	0.00	0.0004	1



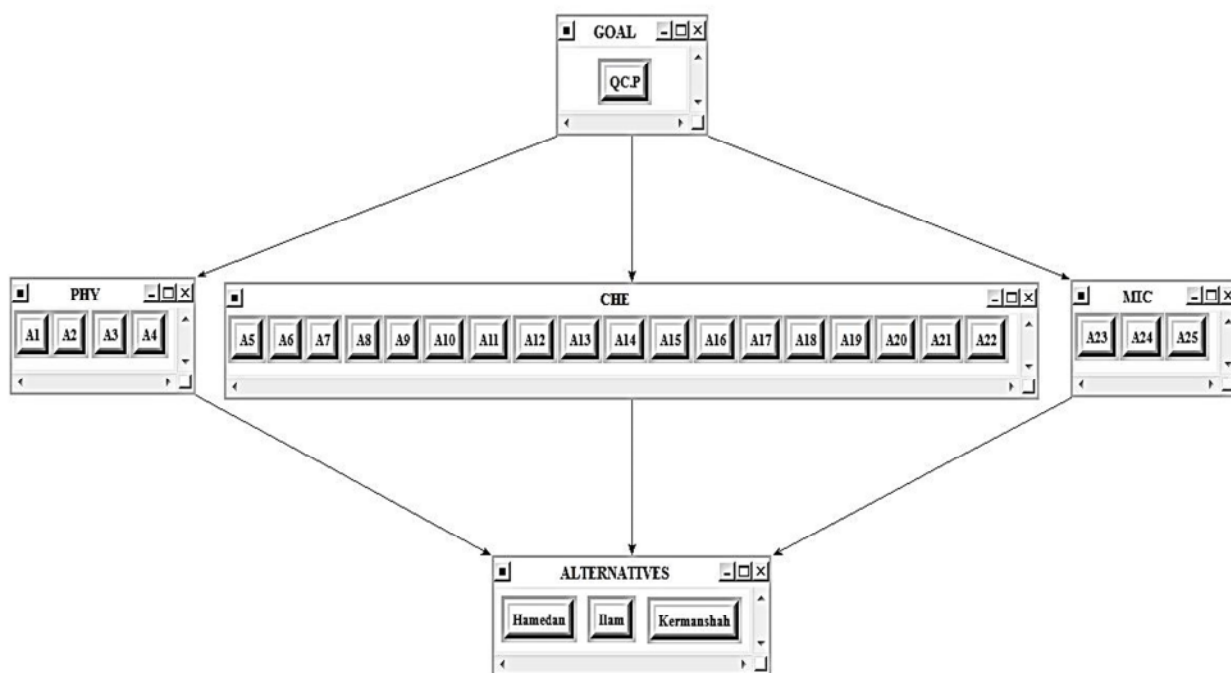


Fig. 2. Schematic View of Modeling in Super Decision software  
 شکل ۲- نمایی از مدل‌سازی در نرم افزار Super Decision

مورد بازبینی قرار می‌گرفت که این امر براساس مطالعات انجام شده در سال ۲۰۰۱ صورت گرفت (Saaty & Vargas, 2001).

به‌منظور تسهیل استفاده از معیارها و گزینه‌های انتخابی در نرم افزار و مقایسات زوجی از کلمات مخفف به شرح جدول ۶ استفاده می‌شود.

همانطور که مشاهده می‌شود ساختار مدل از یک سلسله مراتب سه سطحی تشکیل شده است که سطح اول هدف است که در این مدل، کیفیت عملکردی تصفیه‌خانه‌هاست. سطح دوم، معیارهای مورد بررسی است که در سه گروه فیزیکی، شیمیایی و میکروبی تقسیم می‌شوند و در سطح سوم، گزینه‌های انتخابی می‌باشند که شامل تصفیه‌خانه‌های آب همدان، ایلام و کرمانشاه هستند.

مشخص است که سطح دوم نسبت به سطح اول و سطح سوم نسبت به معیارهای سطح دوم مقایسه می‌شود. مقایسات با استفاده از دو روش ورود مستقیم آمار (به‌صورت کمی) و مقایسات زوجی با استفاده از نظرات کارشناسان (به‌صورت کیفی) انجام می‌شود. پس از تکمیل پرسشنامه‌ها، با استفاده از شاخص میانگین هندسی، نظرات کارشناسان تلفیق شد که نتایج آن در جدول ۷ آورده شده است.

همان‌طور که گفته شد در خصوصیات کیفی آب سه عامل فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژی حائز اهمیت‌اند. عامل میکروبیولوژی از بیشترین اهمیت برخوردار است (Che-Wei et al., 2007). به گونه‌ای که آب تصفیه‌خانه‌ها باید عاری از هرگونه عامل میکروبی باشد. سپس به‌طور تقریبی عامل فیزیکی و بعد عامل شیمیایی در سنجش خصوصیات کیفی آب حائز اهمیت است. در این پروژه یک سری از اطلاعات گرفته شده به‌صورت مستقیم وارد نرم‌افزار شد، که فرایند مقایسه این دسته از اطلاعات را خود نرم‌افزار انجام می‌دهد. دسته دیگری از اطلاعات به‌صورت پرسشنامه‌ای که از نظرات کارشناسان گرفته شده، تهیه گردید. به‌منظور انجام مقایسات زوجی از نظرات کارشناسان محترم کنترل کیفیت تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه استفاده شد. مقایسات زوجی به‌صورت پرسشنامه‌ای و در قالب پرسش و پاسخ در مقایسه هر دو عنصر از تحلیل سلسله مراتبی بوده است. برای این منظور در هر استان، پرسشنامه به سه نفر و در مجموع به نه کارشناس کنترل کیفیت آزمایشگاه‌های هر استان که مرتبط‌ترین افراد در این زمینه هستند، داده شد. هر پرسشنامه پس از تکمیل به‌منظور سنجش ضریب ناسازگاری مورد بررسی قرار گرفت، در صورت تجاوز ضریب از ۰/۱، پرسشنامه





جدول ۶- علائم اختصاری اجزای تحلیل سلسله مراتبی مدل

Table 6. Abbreviation signs of AHP components

Property	Abbreviation signs	Property	Abbreviation signs				
Physical	PHY	Turbidity (NTU)	A1				
		Residual chlorine (mg/L)	A2				
		pH	A3				
		Temperature (°C)	A4				
Chemical	CHE	Ammonia (mg/L)	A5				
		Nitrate (mg/L)	A6				
		Nitrite (mg/L)	A7			Abbreviation signs	Selected options
		TDS (mg/L)	A8			H	Hamedan refineries
		Hardness (mg/L)	A9			I	Ilam refineries
		Alkalinity (mg/L)	A10			K	Kermanshah refineries
		Chloride (mg/L)	A11				
		Phosphate (mg/L)	A12				
		Sulfate (mg/L)	A13				
		Fluorine (mg/L)	A14				
		Iron (mg/L)	A15				
		Manganese (mg/L)	A16				
		Magnesium (mg/L)	A17				
		Calcium (mg/L)	A18				
		Sodium (mg/L)	A19				
		Potassium (mg/L)	A20				
Microbiological	MIC	Coliforms	A21				
		E. Coli	A22				
		HPC	A23				

جدول ۸- مقایسه زوجی پارامترهای میکروبی

Table 8. Paired comparisons of microbiological parameters

MIC	EC-A21	LB-A22	HPC-A23	priority	CR*
EC-A21	1.00	1.13	13.65	0.51	0.0001
LB-A22	0.88	1.00	12.34	0.45	
HPC-A23	0.073	0.081	1.00	0.035	

\* Consistecny Ratio

جدول ۹- مقایسات زوجی پارامترهای فیزیکی

Table 9. Paired comparisons of physical parameters

PHY	A1	A2	A3	A4	priority	CR*
A1	1.00	1.56	2.08	11.35	0.45	0.0003
A2	0.64	1.00	1.34	7.27	0.29	
A3	0.48	0.74	1.00	5.37	0.22	
A4	0.08	0.13	0.18	1.00	0.04	

\* Consistecny Ratio

جدول ۷- مقایسه زوجی بین معیارهای بررسی عملکردی

Table 7. Paired comparisons of performance appraisal

Criteria	CHE	MIC	PHY	priority	CR*
CHE	1.00	0.65	0.91	0.28	0.0007
MIC	1.52	1.00	1.36	0.41	
PHY	1.11	0.73	1.00	0.31	

\* Consistecny Ratio

برای مثال جدول ۸ نشان می‌دهد که معیار E.Coli دارای بیشترین اهمیت در بین ویژگی‌های میکروبی است. در جدول ۹ مشخص است که ویژگی کدورت دارای بیشترین اهمیت در بین ویژگی‌های فیزیکی است.

بررسی جدول ۱۰ نشان می‌دهد که آمونیاک، نیترات و نیتريت پر اهمیت‌ترین آلاینده‌های شیمیایی آب می‌باشند و بررسی مقدار آن‌ها در بررسی کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی اولویت دارد.



جدول ۱۰- مقایسات زوجی پارامترهای شیمیایی

Table 10. Paired comparisons of chemical parameters

CHE	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	Priority	CR*
A5	1.00	1.23	1.11	1.25	1.42	1.66	1.75	1.88	2.34	2.08	2.22	2.43	2.68	2.85	5.26	8.60	0.112	
A6	0.81	1.00	1.30	1.12	1.28	1.54	1.58	1.70	1.80	1.87	2.40	3.04	2.25	2.57	4.50	9.00	0.105	
A7	0.90	0.77	1.00	1.12	1.28	1.50	1.58	1.70	1.80	1.87	2.54	4.43	2.32	2.57	4.50	9.00	0.106	
A8	0.80	0.89	0.89	1.00	1.14	1.39	1.40	1.50	1.60	1.66	1.77	1.77	2.34	2.28	4.51	8.20	0.09	
A9	0.70	0.78	0.78	0.88	1.00	1.16	1.23	1.32	1.40	1.46	1.55	1.55	1.75	2.45	3.50	6.87	0.078	
A10	0.60	0.65	0.67	0.72	0.86	1.00	1.05	1.13	1.20	1.25	1.33	1.33	1.50	1.71	2.84	6.80	0.066	
A11	0.57	0.63	0.63	0.71	0.81	0.95	1.00	1.07	1.14	1.18	1.26	2.65	1.42	1.63	2.85	7.54	0.068	
A12	0.53	0.59	0.59	0.67	0.76	0.88	0.93	1.00	1.06	1.10	1.17	1.49	1.32	1.51	2.65	5.32	0.059	0.0032
A13	0.43	0.56	0.56	0.63	0.71	0.83	0.88	0.94	1.00	1.04	1.11	1.13	1.25	1.43	2.50	4.92	0.055	
A14	0.48	0.53	0.53	0.60	0.68	0.80	0.85	0.91	0.96	1.00	1.03	1.34	1.20	1.37	2.40	4.80	0.054	
A15	0.45	0.42	0.39	0.56	0.65	0.75	0.79	0.85	0.90	0.97	1.00	1.32	1.34	1.28	2.25	4.43	0.05	
A16	0.41	0.33	0.23	0.56	0.65	0.75	0.38	0.67	0.88	0.75	0.76	1.00	1.12	1.32	2.25	4.56	0.043	
A17	0.37	0.44	0.43	0.43	0.57	0.67	0.70	0.76	0.80	0.83	0.75	0.89	1.00	1.14	2.87	4.12	0.044	
A18	0.35	0.39	0.39	0.44	0.41	0.58	0.61	0.66	0.70	0.73	0.78	0.76	0.88	1.00	1.75	3.65	0.038	
A19	0.19	0.22	0.22	0.22	0.29	0.35	0.35	0.38	0.40	0.42	0.44	0.44	0.35	0.57	1.00	2.80	0.022	
A20	0.12	0.11	0.11	0.12	0.15	0.15	0.13	0.19	0.20	0.21	0.23	0.22	0.24	0.27	0.36	1.00	0.011	

\* Consistency Ratio

تأثیرگذار بر روی کیفیت آب آشامیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند

$$L_M = |L_0 - L_S| \quad (1)$$

که در این معادله

$L_M$  مقدار اصلاح شده برای ورود به مدل،  $L_0$  مقدار اولیه معیار و  $L_S$  مقدار استاندارد معیار می‌باشد. که این مقادیر با استفاده از مقادیر اولیه و استاندارد در مدل استفاده می‌شوند (جدول ۱۲).

بنابراین از مقدار این معیارها در مدل اولیه و حتی مدل نهایی استفاده نخواهد شد؛ بلکه از اختلاف عددی هر یک از آنها با مقادیر استاندارد در دسترس آنها استفاده خواهد شد. برای مثال pH در تصفیه‌خانه شهر همدان در جدول ۱۳ مقدار ۰/۹ ذکر شده است که با توجه به معادله ۱، ۷/۹ مقدار اولیه pH و ۷ مقدار استاندارد است و در نهایت مقدار اصلاح شده pH که در مدل نهایی از آن استفاده می‌شود برابر با ۰/۹ است. به همین ترتیب برای دما و E. Coli هم مقادیر اصلاح شده با توجه به معادله ۱ به دست می‌آیند. برای سایر معیارها از مقادیر به دست آمده حاصل از میانگین وزنی استفاده

مطابق جداول ۱ و ۲ معیارهای مورد بررسی نتایج هر سه تصفیه‌خانه، در ناحیه استاندارد قرار دارد. در این پژوهش به بررسی عملکرد کیفی آب تصفیه شده تصفیه‌خانه‌های آب پرداخته شد. ویژگی‌های مورد بررسی در محدوده استاندارد باید حائز شرایط مطابق با جدول ۱۱ باشند تا منجر به آب با کیفیت بالاتری شوند. مبنای این جدول مطالعاتی جامع بر روی شرایط و استانداردهای لازم برای پارامترها و فاکتورهای مختلف برای کنترل کیفیت آب است (Tebbutt, 1998).

در واقع اطلاعات جمع‌آوری شده در جدول ۱۱ منجر به استناداتی برای بررسی شرایط مطلوب و استاندارد کیفیت آب آشامیدنی شده است.

همانطور که در جدول ۱۱ مشخص است pH و دمای آب دارای حد مطلوبی هستند که باید در محدوده خاصی باشند که در صورت تجاوز از این محدوده، کیفیت آب آشامیدنی کاهش خواهد یافت. بنابراین این معیارها با استفاده از رابطه ریاضی زیر اصلاح و در مدل نهایی کیفیت آب آشامیدنی بر اساس پارامترهای مختلف و



## جدول ۱۱- استنادات به منظور بررسی شرایط مطلوب کیفیت آب آشامیدنی

Table 11. Standard documentation for investigating the drinking water quality evaluation

Drinking water quality standards	Property	
As it gets closer to zero, the condition will be better.	A1	Turbidity (NTU)
Condition is more better from 0.8 to 1.2 mg/L	A2	Residual chlorine (mg/L)
As it gets closer to seven, the condition will be better.	A3	pH
Best conditions are between 10 to 12 °C. As it gets closer to 12, the condition will be better.	A4	Temperature (°C)
As it gets closer to zero, the condition will be better.	A5	Ammonia (mg/L)
It is better to be lower. And the standard is under 50.	A6	Nitrate (mg/L)
It is better to be lower.	A7	Nitrite (mg/L)
Condition under 500 mg/l is desired.	A8	TDS (mg/L)
Condition is more better from 200 to 250 mg/L	A9	hardness (mg/L)
We expected less than 200 mg/l for drinking water. If it gets higher than that it is not economic at all.	A10	Alkalinity (mg/L)
Max of the amount in between 200 to 300 mg/L	A11	Chloride (mg/L)
It is better to be lower	A12	Phosphate (mg/L)
Under 250 mg/l bad taste gets in to its minimum.	A13	Sulfate (mg/L)
It must be lower than 1.2 mg/L	A14	Fluorine (mg/L)
Best conditions are lower than 0.1 mg/L	A15	Iron (mg/L)
Maximum is lower than 0.3 mg/L		
As it gets lower, the condition will be better.	A16	Manganese (mg/L)
Best conditions are in 50 mg/L Maximum is in 150 mg/L	A17	Magnesium (mg/L)
Best conditions are in 75 mg/L	A18	Calcium (mg/L)
Maximum is in 250 mg/L		
Best conditions are in 250 mg/L	A19	Sodium (mg/L)
Maximum is in 400 mg/L		
In drinking water, the amount of it is between 200 to 300 mg/L	A20	Potassium (mg/L)
The amount of it must be negative.	A21	Coliforms (MPN/100 mL)
The amount of it must be negative.	A22	E. Coli (MPN/100 mL)
As it gets lower, the condition will be better. The standard of it is mentioned in table 3.	A23	HPC (CFU/mL)

قسمت گزینه‌های انتخابی به شرح جدول ۱۳ است. همانطور که مشاهده می‌شود طبق نتایج حاصل از مدل، تصفیه‌خانه آب آشامیدنی کرمانشاه بالاترین کیفیت را نسبت به دو تصفیه‌خانه دیگر دارد و به ترتیب بعد از آن همدان و ایلام قرار دارند. (جدول ۱۴).

## ۲-۳- صحت سنجی مدل

مدل در دو بخش بررسی اعداد ناسازگاری و تحلیل حساسیت مورد آزمایش قرار گرفت. در صورت عبور از هر دو بخش می‌توان به نتایج حاصل استناد کرد.

## جدول ۱۲- مقادیر اصلاح معیارهای با محدوده استاندارد

Table 12. Modified standard compared with the standard values

Criteria examined	The standard value (L <sub>0</sub> )	The modified for model (L <sub>M</sub> )
pH	7	1L <sub>0</sub> -71
Temperature (°C)	12	1L <sub>0</sub> -121
E. Coli	100	100- L <sub>0</sub>

خواهد شد. یکی از مزایای ورود مستقیم داده‌ها به صورت کمی این است که ضریب ناسازگاری صفر می‌شود و با اطمینان کامل می‌توان از این اطلاعات استفاده کرد. پس اطلاعات ورودی مدل در



جدول ۱۳- اطلاعات ورودی مدل برای تصفیه‌خانه‌های انتخابی

Table 13. Input model parameters for selected water treatment plants

Property	Abbreviation signs	Property	Abbreviation signs	Hamedan	Ilam	Kermanshah
Physical	PHY	Turbidity (NTU)	A1	0.55	0.79	0.64
		Residual chlorine (mg/L)	A2	1	1	0.85
		pH	A3	0.9	0.95	0.73
		Temperature (°C)	A4	0	1.8	4.5
Chemical	CHE	Ammonia (mg/L)	A5	0	0	0.002
		Nitrate (mg/L)	A6	8	6	9
		Nitrite (mg/L)	A7	0.002	0.008	0
		TDS (mg/L)	A8	343	295	270
		Hardness (mg/L)	A9	256	220	240
		Alkalinity (mg/L)	A10	126	136	210
		Chloride (mg/L)	A11	11	12.6	12
		Phosphate (mg/L)	A12	0.008	0.009	0.018
		Sulfate (mg/L)	A13	125	83	17
		Fluorine (mg/L)	A14	0.35	0.3	0.08
		Iron (mg/L)	A15	0.05	0.07	0
		Manganese (mg/L)	A16	0.002	0.01	0
		Magnesium (mg/L)	A17	21	17.5	9
		Calcium (mg/L)	A18	68	60	83
		Sodium (mg/L)	A19	7.3	9.2	5
		Potassium (mg/L)	A20	0.18	0.16	0.4
Microbiological	MIC	Coliforms (MPN/100mL)	A21	0.0009	0.00023	0.0001
		E. Coli (MPN/100mL)	A22	1.33	4.97	0.04
		HPC (CFU/mL)	A23	2	7	5

۰/۱ است و در بعضی موارد تا ۰/۲ نیز مورد قبول واقع می‌شود. در جدول ۱۵ ضرایب ناسازگاری بخش‌های مختلف مدل ارائه شده است. یادآور می‌شود که سایر مقایسات زوجی بر اساس اعداد حاصل از آزمایش‌ها و به صورت مستقیم وارد مدل شدند که فاقد هرگونه ناسازگاری می‌باشند. بنابراین مدل از لحاظ ناسازگاری در شرایط قابل قبولی است.

#### ۲- تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت به منظور بررسی پایداری اولویت‌گزینه‌های انتخابی انجام شد. با توجه به استفاده متنوع از معیارها با طبقه‌بندی‌های متفاوت با تکیه بر بخش تحلیل حساسیت، اوزان و ترجیحات به دست آمده از نظر پایداری مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که اولویت‌های نهایی در صورت تغییر مقادیر هر یک از معیارها، تا چه اندازه تغییر می‌کند. روش رایج و ساده در تحلیل حساسیت، روش تغییر فاکتور ورودی در یک زمان برای مشاهده اثر خروجی است. در این روش هر تغییری

جدول ۱۴- نتایج خروجی مدل تحلیل سلسله مراتبی به صورت عددی

Table 14. Results of AHP model output

Treatment plant	Raw	Normalized	Idealized
Kermanshah	0.1075	0.215	0.521
Hamedan	0.1863	0.372	0.903
Ilam	0.2062	0.412	1.00

جدول ۱۵- ضرایب ناسازگاری مقایسات زوجی

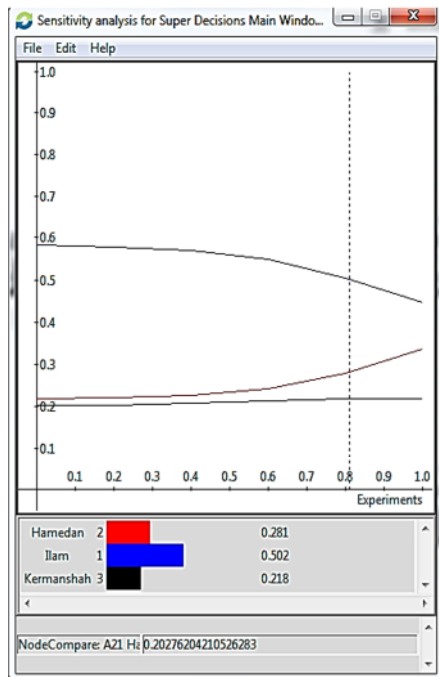
Table 15. Conflict Coefficients of paired comparisons

Paired comparison	Table number	Conflict Coefficients
Performance appraisal	4-7	0.0007
Microbiological parameters	4-8	0.0001
Physical parameters	4-9	0.0003
Chemical parameters	4-10	0.0032

#### ۱- ضرایب ناسازگاری

ابتدا به بررسی اعداد ناسازگاری حاصل از ورود داده‌های به صورت مقایسات زوجی پرداخته می‌شود. در تحلیل سلسله مراتبی ارائه شده توسط ساعتی در سال ۲۰۰۱، مقدار قابل قبول ضریب ناسازگاری





**Fig. 4.** Sensitivity analysis based on paired comparison of using E. coli parameter from Ilam and Hamedan treatment plants

شکل ۴- تحلیل حساسیت گزینه‌های انتخابی بر اساس مقایسه زوجی تصفیه‌خانه‌های ایلام و همدان بر اساس معیار E. Coli (خروجی نرم‌افزار)

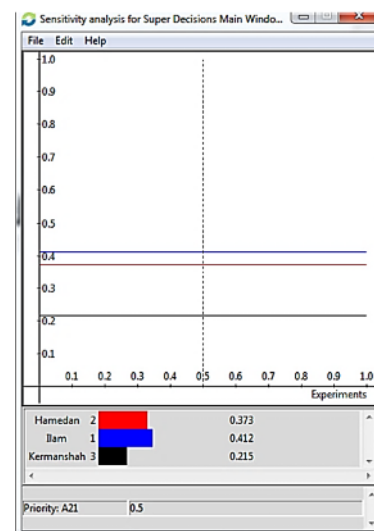
با توجه به شکل ۴ می‌توان نتیجه گرفت که با وجود حساسیت خفیفی که وجود دارد، اولویت‌بندی‌های موجود تغییری نمی‌کند و می‌توان به نتایج حاصل استناد کرد. بنابراین اولویت‌بندی حاصل پذیرفته می‌شود و قابل تعمیم برای سایر تصفیه‌خانه‌ها است.

#### ۲-۴- تعمیم مدل مطالعه موردی به یک مدل کلی جهت بررسی کیفیت عملکردی تصفیه‌خانه

با استفاده از مدل موجود می‌توان مدلی اولیه و قابل گسترش برای بررسی کیفیت عملکردی تصفیه‌خانه‌ها استخراج کرد و با استفاده از آن عملکرد تصفیه‌خانه‌ها را با یکدیگر مقایسه کرد. همچنین از این مدل در اولویت‌بندی معیارهای حاصل نیز می‌توان استفاده کرد. مدل به‌دست آمده در این پژوهش به صورت جدول ۱۶ قابل حصول است. که در این جدول ضریب ۱ یا ضریب معیار در واقع مربوط به ضریب اهمیت سه پارامتر کیفی آب (فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژی) است که از جدول ۷ به‌دست آمد و ضریب ۲ یا ضریب زیر معیار مربوط به ضریب اهمیت فاکتورهای سه پارامتر

در خروجی به وضوح به علت تغییر یک عامل است. با تغییر یک عامل، تمام عوامل دیگر می‌توانند ثابت نگه داشته شوند و نتایج مقایسه شوند (Chen et al. 2010). در این پژوهش از تغییر وزن معیارها به منظور شناسایی معیارهایی که به تغییر وزن حساس‌اند و کمی‌سازی تغییرات در اولویت معیارها استفاده شد. در روند تحلیل حساسیت به سه پارامتر معیار تغییرکننده اصلی، بازه تغییر درصد و افزایش تغییر درصد نیاز است. معیار تغییرکننده اصلی، معیاری است که وزن آن در اجراهای جاری، تغییر خواهد کرد. اگر مهم‌ترین معیار از مهم‌ترین خاصیت کیفیتی آب خروجی تصفیه‌خانه مورد تحلیل حساسیت قرار داده شود، می‌توان به نتایج قابل تعمیم دست پیدا کرد. مهم‌ترین خاصیت در پژوهش حاضر خواص میکروبی و مهم‌ترین معیار در این خواص E.Coli است. در شکل ۳ حساسیت گزینه‌های انتخابی بر اساس معیار E.Coli سنجیده شده است.

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌شود، اولویت‌گزینه‌های انتخابی هیچ‌گونه حساسیتی به این معیار نداشته و همچنان گزینه تصفیه‌خانه آب کرمانشاه دارای اولویت برتر است.



**Fig. 3.** Sensitivity analysis of model output based on selected options using E. Coli as a parameter

شکل ۳- تحلیل حساسیت گزینه‌های انتخابی بر اساس معیار E.Coli (خروجی نرم‌افزار)

با استفاده از مقایسه زوجی دو گزینه انتخابی تصفیه‌خانه‌های کرمانشاه و ایلام بر اساس معیارهای E.Coli تحلیل حساسیت انجام شد و پایداری تصمیم اتخاذ شده مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۳ تحلیل حساسیت این مقایسه زوجی مشاهده می‌شود.



جدول ۱۶. ضرائب حاصل از مدل نهایی

Table 16. The results of final model output

Property	Coefficients(1)	Criterion	Coefficients(2)	Model output
PHY	0.31	A1	0.45	0.139
	0.31	A2	0.29	0.089
	0.31	A3	0.22	0.068
	0.31	A4	0.04	0.012
CHE	0.28	A5	0.112	0.031
	0.28	A6	0.105	0.029
	0.28	A7	0.106	0.029
	0.28	A8	0.09	0.025
	0.28	A9	0.078	0.021
	0.28	A10	0.066	0.018
	0.28	A11	0.068	0.019
	0.28	A12	0.059	0.016
	0.28	A13	0.055	0.015
	0.28	A14	0.054	0.015
	0.28	A15	0.05	0.014
	0.28	A16	0.043	0.012
	0.28	A17	0.044	0.012
	0.28	A18	0.038	0.010
	0.28	A19	0.022	0.006
	0.28	A20	0.011	0.003
MIC	0.41	A21	0.51	0.209
	0.41	A22	0.45	0.184
	0.41	A23	0.035	0.014

کیفی به صورت مجزا هستند که در جداول ۸ تا ۱۰ به آنها اشاره شد. با استفاده از اعداد حاصل معیارهای مورد بررسی نیز اولویت بندی شد و سهم هریک نیز مشخص شد. در جدول ۱۷ اولویت معیارها ارائه شده است. مشاهده می شود که برخی از معیارهای مربوط به خواص فیزیکی آب نسبت به خواص میکروبی دارای اولویت است و در مدل سازی نهایی باید مورد استفاده قرار گیرند. مشخص است که ویژگی های میکروبی دارای چند شاخص محدود ولی بسیار پر اهمیت و ویژگی های شیمیایی دارای تعداد شاخص بیشتر با اهمیت کمتری است. با استفاده از ضرایب اهمیت معیارهای مختلف به دست آمده در زمینه کنترل کیفیت آب آشامیدنی می توان به یک مدل کلی جهت تعمیم به سایر تصفیه خانه های آب رسید. از مدل نهایی به منظور بررسی کیفیت عملکردی آب آشامیدنی در تصفیه خانه ها می توان استفاده کرد. رابطه نهایی قابل ارائه به صورت زیر است

$$L=0.2091A_{21}+0.1845A_{22}+0.144A_1+0.0928A_2+0.0143A_{23}+0.0704A_3+0.0128A_4+0.0313A_5+0.0296A_7+0.0294A_6+0.0294A_8+0.0218A_9+0.019A_{11}+0.0184A_{10}+0.0165A_{12}+0.0154A_{13}+0.0151A_{14}+0.014A_{15}+0.0123A_{17}+0.012A_{16}+0.0106A_{18}+0.0061A_{19}+0.0030A_{20} \quad (۲)$$

جدول ۱۷- اولویت بندی معیارهای مورد بررسی

Table 17. Prioritizing of performance measures

Proritize	Ceriterion	Resulting value
1	A21	0.209
2	A22	0.184
3	A1	0.144
4	A2	0.092
5	A3	0.070
6	A5	0.031
7	A7	0.029
8	A6	0.029
9	A8	0.025
10	A9	0.021
11	A11	0.019
12	A10	0.018
13	A12	0.016
14	A13	0.015
15	A14	0.015
16	A23	0.014
17	A15	0.014
18	A4	0.012
19	A17	0.012
20	A16	0.012
21	A18	0.010
22	A19	0.006
23	A20	0.003



### ۳- نتیجه‌گیری

از نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که در پارامترهای میکروبی باکتری‌های گرم‌پای (E.Coli) در بین سایر عوامل میکروبی دارای بیشترین اهمیت می‌باشد. همچنین ویژگی کدورت دارای بیشترین اهمیت در بین ویژگی‌های فیزیکی است، به نحوی که در سال‌های اخیر بیشترین حساسیت در تصفیه‌خانه‌ها را به خود اختصاص داده است و در دهه اخیر پژوهش‌های زیادی بر روی آن صورت پذیرفته است. آمونیاک، نیترات و نیتريت نیز پر اهمیت‌ترین آلاینده‌های شیمیایی آب است که بررسی اندازه آن‌ها در بررسی کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی اولویت دارد. با توجه به در نظر گرفتن این امر که هر سه تصفیه‌خانه دارای کیفیت استاندارد می‌باشند، نتایج به‌دست آمده از مدل ارائه شده نشان داد که کیفیت آب خروجی تصفیه‌خانه آب کرمانشاه دارای بالاترین کیفیت در مقایسه با دو تصفیه‌خانه مورد مطالعه دیگر است، سپس تصفیه‌خانه همدان و در نهایت تصفیه‌خانه ایلام قرار دارند.

تغییراتی که در سه معیار دما، pH و E.Coli اعمال شد، نیز باید در مدل کلی اعمال شوند. در مدل کلی این تغییرات اعمال شده است و به‌صورت رابطه نهایی برای کنترل کیفیت آب آشامیدنی تصفیه‌خانه‌های آب ارائه می‌شود

$$L=0.2091(100-EC)+0.1845A_{22}+0.144A_1+0.0928A_2+0.0143A_{23}+0.0704([PH-7])+0.0128([T-12])+0.0313A_5+0.0296A_7+0.0294A_6+0.0294A_8+0.0218A_9+0.019A_{11}+0.0184A_{10}+0.0165A_{12}+0.0154A_{13}+0.0151A_{14}+0.014A_{15}+0.0123A_{17}+0.012A_{16}+0.0106A_{18}+0.0061A_{19}+0.0030A_{20} \quad (3)$$

شایان ذکر است که هرچه مقدار L به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده کیفیت عملکردی بالاتری در تصفیه‌خانه‌هاست. همچنین به‌دلیل بررسی کیفیت آب خروجی تصفیه‌خانه در این مدل، می‌توان با استفاده از آن هر نوع آب آشامیدنی را مورد بررسی قرار داد.

### References

- Abbaspour, M., Javid, A. & Habibi, A. 2014. Determination of physical & chemical properties of water of khersan river & investigation on its yearly changes. *Journal of Environment Science and Technology*, 15, 1-11.
- Boroushaki, S. & Malczewski, J. 2008. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers and Geosciences*, 34, 399-410.
- Chen, Y., Yu, J. & Khan, S. 2010. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software*, 25 (12), 1582-1591.
- Che-Wei, C., Cheng-Ru, W., Chin-Tsai, L. & Huang-Chu, C. 2007. An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine. *Comput. Ind. Eng.*, 52 (2), 296-307.
- Dabaghian, M. R., Hashemi, S. H., Ebadi, T. & Maknoon, R. 2008. The best available technology for small electroplating plants applying analytical hierarchy process. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 5 (4), 479-484.
- Darabi, M., Jahani Zadeh, Sh. & Chegeny, M. 2014. Chemical and physical indicators in drinking water and water sources of Boroujerd using principal components analysis. *Medical Laboratory Journal*, 8, 76-82.
- García, C., López-Úbeda, A., Palazón, A., López, I. & Aragonés, L. 2016. Evaluation of the quality of coastal bathing waters in Spain through fecal bacteria Escherichia coli and Enterococcus. *Science of the Total Environment*, 566-567, 288-297.
- Guangming, Z., Ru, J., Guohe, H., Min, X. & Jianbing, L. 2007. Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *Journal of Environmental Management*, 82, 250-259.





- Handfield, R., Steven, V., Walton, R. S. & Steven, A. M. 2002. Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the analytical hierarchy process. *Eur. J. Oper. Res.*, 141 (1), 70-87.
- Lee, A.H.I., Chen, W.C. & Chang, C.J. 2008. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert Systems with Applications*, 34, 96-107.
- Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar M. & Zaeri, M. S. 2007. Project selection by using fuzzy AHP and TOPSIS technique. *International J. of Human and Social Sciences*, 30, 333-338.
- Mianabadi, H. & Afshar, A. 2008. Multi-attribute decision- marking to rank urban water supply schemes. *Journal of Water and Wastewater*, 19 (2), 34-45. (In Persian)
- Mohammadi, A., Amouei, A., Tabarinia, H. & Faraji, H. 2015. Investigating the physicochemical analysis of potable ground water sources in area rural area of Babol city. *Journal of Neyshabur University of Medical Science*, 2, 61-69. (In Persian)
- Mok, J., Lee, K., Kim, P., Lee, T., Lee, H., J. et al. 2016. Bacteriological quality evaluation of seawater and oysters from the Jaranman-Saryangdo area, a designated shellfish growing area in Korea: Impact of inland pollution sources. *Marine Pollution Bulletin*, 108, 147-154.
- Noroozi, R., Zafarzadeh, A. & Youlizadeh, T. 2013. Survey on microbial quality of drinking water in city Maravehtapeh Villages and comparison with national and WHO standards. *Journal of Environmental Health Engineering*, 1, 20-29.
- Perez, M., Rodriguez-Cano, R., Romero, L.I. & Sales D. 2007. Performance of anaerobic thermophilic fluidized bed in the treatment of cutting-oil wastewater. *Bioresource Technology*, 98 (18), 3456-3463.
- Rossmann, L. A. 1980. Synthesis of waste treatment systems by implicit enumeration. *Journal of Water Pollut. Control F.*, 52 (1), 147-160.
- Saaty, T. & Vargas, L. G. 2001. Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. *International Series in Operations Research & Management Science*, Tehran, Iran. (In Persian)
- Solaimani Sardo, M., Vali, A.A., Ghazavi, R. & Saidi Goraghani, H.R. 2013. Trend analysis of chemical water quality parameters, Case study Cham Anjir River. *Journal of Irrigation & Water Engineering*, 12, 95-106.
- Stringfellow, W., Domen, J. K. & Camarillo, M. K. 2016. Physical-chemical evaluation of hydraulic fracturing chemicals in the context of produced water treatment. *Journal of Environmental Management*, 183, 164-174.
- Tebbutt, T. H. Y. 1998. *Principles of water quality control*, 5<sup>th</sup> Ed., UK: Butter Worth-Heinemann Pub.
- Tsagarakis, K. P., Mara, D. D. & Angelakis, A. N. 2003. Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems. *Water Air Soil Pollut.*, 142 (1-4), 187- 210.
- Tsiporkova, E. & Boeva, V. 2006. Multi-step ranking of alternatives in a multi-criteria and multi-expert decision making environment. *Inform. Science*, 176 (12), 2673-2697.

