دبیرخانه کارگروه تخصصی همگرایی در تعالی علوم
و فناوریهای پیشرفته کلان منطقه ۳ به میزبانی
دانشگاه علوم پزشکی همدان برگزار می کند.

شرکت آب و فاضلاب
استان همدان

مرکز تحقیقات علوم بهداشتی
دانشگاه علوم پزشکی همدان

دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی
استان کردستان

دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی
استان همدان

اولین وبینار علمی

طعم و بوی آب آشامیدنی، چالشها و راهکارهای حذف

جناب آقای دکتر رضا شکوهی

(استاد گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی همدان)

جناب آقای دکتر اسمعیل قهرمانی

(استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کردستان)

محورهای وبینار:

- ✓ علل ایجاد طعم و بوی در منابع آب آشامیدنی
- ✓ روش‌های کاهش و حذف عوامل ایجاد کننده
- ✓ ارائه تجارب موفق در سطح کلان منطقه آمایشی ۳

(همدان- کرمانشاه، کردستان- ایلام و اسدآباد)

فهرست مطالب

اهمیت تامین آب شرب بهداشتی از نظر طعم و بو

عوامل طعم و بو در آب شرب: عوامل بیولوژیکی و شیمیایی

ترکیبات تایید شده عامل طعم و بو در آب شرب

ژئوسمین و ۲-متیل ایزوبورنئول: منشاء، اثرات زیباشناختی و بهداشتی، روش های تصفیه

فرآیند های اکسیداسیون و اکسیداسیون پیشرفته

AOP های توسعه یافته برای حذف ژئوسمین و ۲-متیل ایزوبورنئول

مطالعات در مقیاس پایلوت و آزمایشگاهی

مطالعات در مقیاس full-scale

استاندارد بوی آب شرب در ایران

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی آب آشامیدنی

ردیف	ویژگی	حد مطلوب	مقدار مجاز	واحد اندازه‌گیری
۱	کدورت	کم‌تر یا مساوی ۱	حداکثر ۵	NTU[a]
۲	رنگ	-	حداکثر ۱۵	پلاتین، کبالت برای رنگ حقیقی آب T.C.U[b]
۳	بو	حداکثر ۲ واحد در ۱۲ درجه سلسیوس و حداکثر ۳ واحد در ۲۵ درجه سلسیوس	-	رقم آستانه بو(TON[c])
۴	pH	۶/۵ ۸/۵	۶/۵ ۹/۰	-

یادآوری ۱- نظر به این‌که کدورت، رنگ و pH علاوه بر قابل پذیرش بودن آب، در کیفیت بهداشتی آب به طور غیرمستقیم نقش دارند، برای آن‌ها حداکثر مجاز تعریف شده است.

یادآوری ۲- تامین کدورت کم‌تر یا مساوی یک ان تی یو در خروجی تصفیه‌خانه‌های متعارف آب[1]، الزامی است.

a- Nephelometric Turbidity Unit
b- True Color Unit
c- Threshold Odor Number

آب شرب باید فاقد هر گونه طعم و بوی نامطلوب باشد

اهمیت تامین آب شرب بهداشتی از نظر طعم و بو

- تامین آب آشامیدنی علاوه بر سالم و بهداشتی بودن باید از نظر ظاهر و نیز طعم و بو قابل قبول باشد.
- آبی که از نظر زیبایی شناختی غیرقابل قبول است، اعتماد مصرف کنندگان را تضعیف می کند، منجر به شکایت می شود، و مهمتر از آن، می تواند منجر به استفاده از آب از منابعی شود که سلامت کمتری دارند ولی از نظر ظاهری و زیبا شناختی قابل قبول تر است.

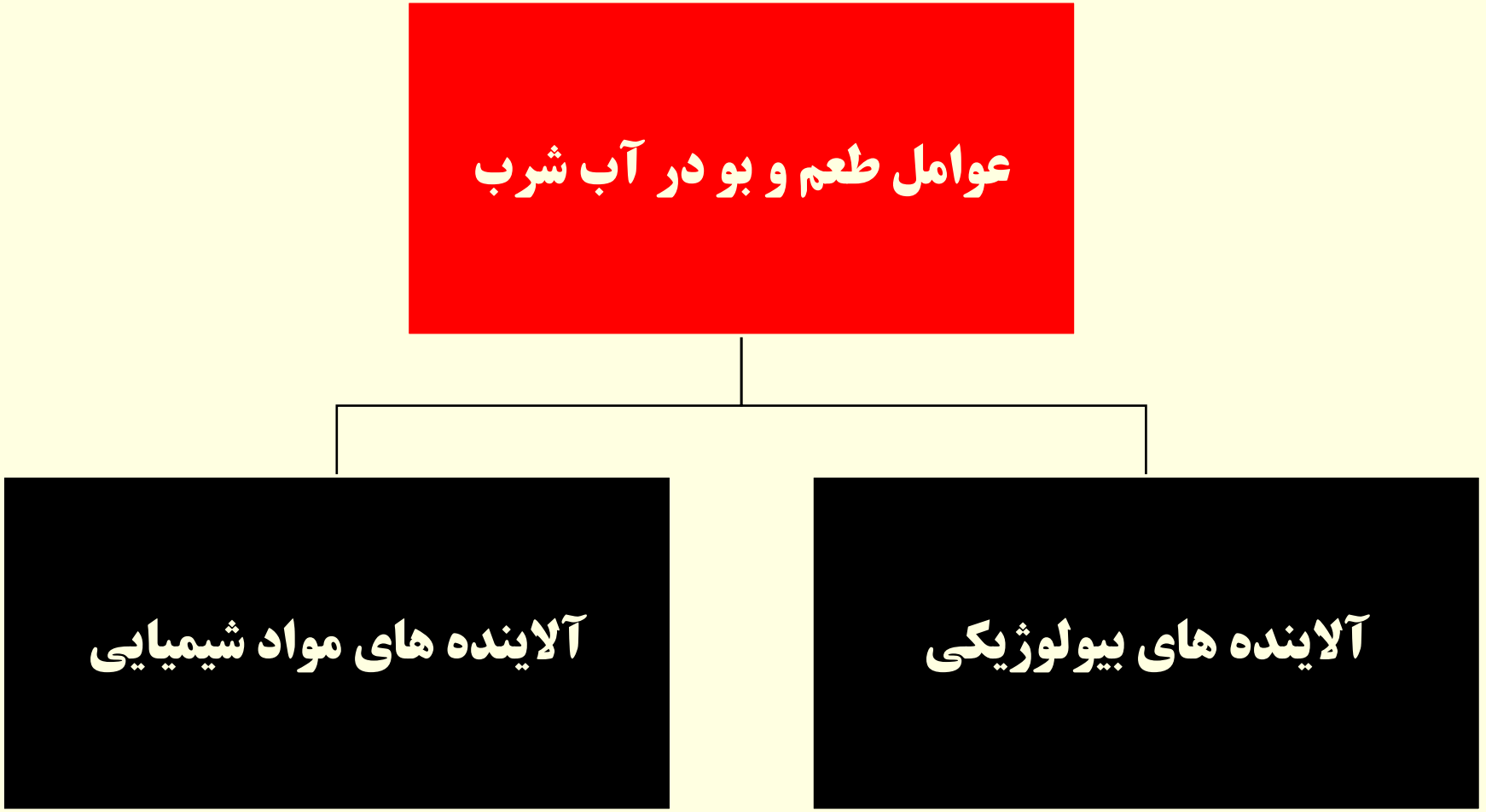
اهمیت تامین آب شرب بهداشتی از نظر طعم و بو

- طعم و بو در آب آشامیدنی ممکن است نشان دهنده نوعی آلودگی یا نقص در هنگام تصفیه یا توزیع آب باشد. بنابراین ممکن است نشانه ای از وجود مواد بالقوه مضر باشد. به خصوص اگر یک تغییر ناگهانی یا اساسی وجود داشته باشد.

- شرکت های آب و مسئولین یک رویکرد سه مرحله ای را برای رسیدگی به مسئله طعم و بو ی آب شرب اعمال می کنند:

1. تحلیل حسی طعم و بو (شکایت هایی مردم در زمینه طعم و بوی آب)
2. آنالیز های شیمیایی (کاربرد تکنیک های آزمایشگاهی دقیق برای شناسایی عوامل اصلی طعم و بو)
3. هنگامی که علت مشکل طعم و بو مشخص و تایید شد، برای به حداقل رساندن یا حذف عامل طعم و بو مدیریت و تصفیه آب مورد توجه قرار گیرد.

عوامل طعم و بو در آب شرب



آلاینده های بیولوژیکی

آلاینده های مشتق شده بیولوژیکی

- باکتری های آهن
- اکتینومیست ها و قارچ ها
  - ژئوسیمن و 2-MIB
- سیانوباکترها و جلبک ها
  - ژئوسیمن و 2-MIB

آستانه طعم و بو در آب آشامیدنی ۱ تا ۱۵ نانوگرم بر لیتر

آلاینده های شیمیایی

۲۱ ماده شیمیایی شناخته شده که پتانسیل بالایی برای ایجاد مشکلات طعم و بو در آب را دارند

- بیش از ۳۰ سال است که دپارتمان آب فیلادلفیا بر شناسایی، ثبت، آنالیز و حذف طعم ها و بوها در آب آشامیدنی خود و در آب مصرفی مشتریان خود تمرکز کرده است. این دپارتمان ۲۱ ماده شیمیایی اصلی که پتانسیل بالایی برای ایجاد مشکلات طعم و بو در آب را دارند را معرفی کرده اند که این ترکیبات در جدول ۱ لیست شده است.

۲۱ ماده شیمیایی اصلی که توصیف طعم و بوی آنها به عنوان مشکلات اصلی مورد تایید قرار گرفته است.

شماره	ترکیب شیمیایی	توصیف طعم و بو
۱	ژئوسمین (Geosmin)	خاکی/کپک زده
۲	۲-متیل ایزوبورنئول (2-MIB)	خاکی/کپک زده
۳	۲،۴،۶-تری کلروآنیزول	خاکی/کپک زده
۴	۲،۴،۶-تری بروموآنیزول)	خاکی/کپک زده
۵	d-Limonene	معطر، سبزی، میوه ای، گلدار
۶	هپتانال	ماهی/ترشی
۷	Nonanal	چمنی/یونجه/نی/چوبی
۸	Nonenal (ایزومرهای E و Z)	علف/یونجه/نی/چوبی
۹	کلر آزاد در pH محلول ۷	کلر/ازون
۱۰	مونوکلرامین	کلر/ازون
۱۱	دی کلرامین	کلر/ازون
۱۲	نفتالین	شیمیایی/هیدروکربن
۱۳	تولوئن	شیمیایی/هیدروکربن
۱۴	۱،۲،۴-تری متیل بنزن	شیمیایی/هیدروکربن
۱۵	متیل تی بوتیل اتر (MTBE)	شیمیایی/هیدروکربن
۱۶	اتیل تی بوتیل اتر	شیمیایی/هیدروکربن
۱۷	سولفید هیدروژن	باتلاقی، سپتیک، گوگردی
۱۸	اتیلن گلیکول	طعم شیرین
۱۹	سدیم به صورت NaCl	طعم شور
۲۰	مس (II)	طعم تلخ
۲۱	آهن (II)	طعم تلخ

چهار عامل با اهمیت بیشتر

ژئوسمین و ۲-متیل ایزوبورنئول

به عنوان یک مشکل فراگیر جهانی ترکیبات اصلی طعم و بو مرتبط با بوی آب توسط ژئوسمین (GSM) و ۲-متیل ایزوبورنئول (2-MIB) ایجاد می‌شود. سیانوباکتری‌هایی که تحت عنوان جلبک‌های سبز- آبی شناخته می‌شوند، عامل اصلی تولید این ترکیبات هستند. این دو ترکیب می توانند در دو فرم درون سلولی و خارج سلولی (محلول در آب) سبب تولید طعم و بوی ناخوشایند در آب شوند. عمده شکایت مصرف کنندگان از حضور این دو ترکیب در آب شرب حس طعم و بوی کپک زده و خاکی است. حذف این ترکیبات از آب آشامیدنی چالش برانگیز است، زیرا غلظت آستانه طعم و بوی آن ها با توجه به خصوصیات فردی، سن و سال، جنسیت افراد معمولاً ۱ تا ۱۵ نانوگرم بر لیتر گزارش شده است .

برخی از گونه‌های سیانوباکتری مسئول تولید ژئوسمین و ۲-متیل ایزوبورنئول

گونه‌های سیانوباکتری

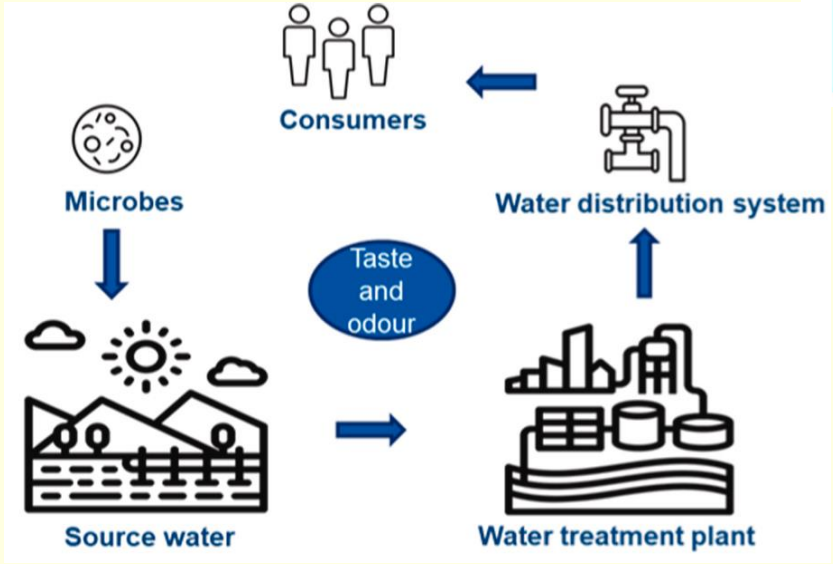
اسیلاتوریا تنویس	اسیلاتوریا سیمپلیسسیما	آنابنا چرمتیوی	پلانکتوتریک س	اسیلاتوریا f. گرانولاتا	تنو فورمیدیوم	آنابنا سیرسینالیس

سایر اثرات ژئوسمین و ۲-متیل ایزوبورنئول

بررسی اثرات 2-MIB و GSM برای رسیدگی کامل به ایمنی آب آشامیدنی و اثرات سم‌شناسی روی انسان و سایر حیوانات ضروری است. این به این دلیل است که جلبک‌های سبز آبی سموم مختلفی مانند هپاتوتوکسین‌ها، سیلندراسپرموپسین‌ها، میکروسیستین‌ها، نوروتوکسین‌ها، آناتوکسین‌ها، هوموآناتوکسین‌ها، ساکسی‌توکسین‌ها، درماتوکسین‌ها، سموم لینگبیا و سموم آپلیزیا تولید می‌کنند که باعث چندین بیماری در کبد، سیستم عصبی و آسیب‌های پوستی می‌شوند. طبق گزارش US EPA در سال ۲۰۱۳ قرار گرفتن قسمت‌هایی از بدن در معرض آب حاوی سلول‌های سیانوباکتری و سموم آن‌ها باعث آسیب پوستی شده است در حالی که بلع آن‌ها می‌تواند منجر به درد شکمی، استفراغ و تهوع، سرفه خشک، اسهال، تاول‌های اطراف دهان، گلودرد، و ذات الریه شود. علاوه بر این تایید شده است این سموم جلبکی سبب سرطان نیز می‌شوند.

بررسی منشاء عوامل طعم و بو در آب شرب

بررسی منشاء عوامل طعم و بو در آب شرب باید توسط یک رویکرد جامع در زنجیره تامین اب شامل: منبع آب، تصفیه خانه آب و سیستم توزیع و مصرف کنندگان بررسی گردد.



1

در منبع آب، عوامل غیرزیستی مانند غلظت نیتروژن و فسفر، در دسترس بودن نور و دما، نرخ رشد میکروب های عامل طعم و بو را تعیین می کنند.

2

در تصفیه خانه: در صورت مصرف بیش از حد مواد منعقد کننده یا اکسیداسیون غیر کنترل شده، عامل طعم و بوی داخل سلولی نیز می تواند با لیز سلولی به آب آزاد شود که حذف آن با روش های متداول بسیار مشکل است

3

در سیستم توزیع آب: بیوفیلم‌های میکروبی در شبکه توزیع آب نیز می‌توانند عامل طعم و بو شوند. عواملی که بر رشد بیوفیلم در لوله‌های آب تأثیر می‌گذارند عبارتند از: نوع و غلظت مواد ضدعفونی‌کننده باقیمانده، غلظت مواد مغذی معدنی و آلی، جنس لوله، دما و سرعت جریان آب.

4

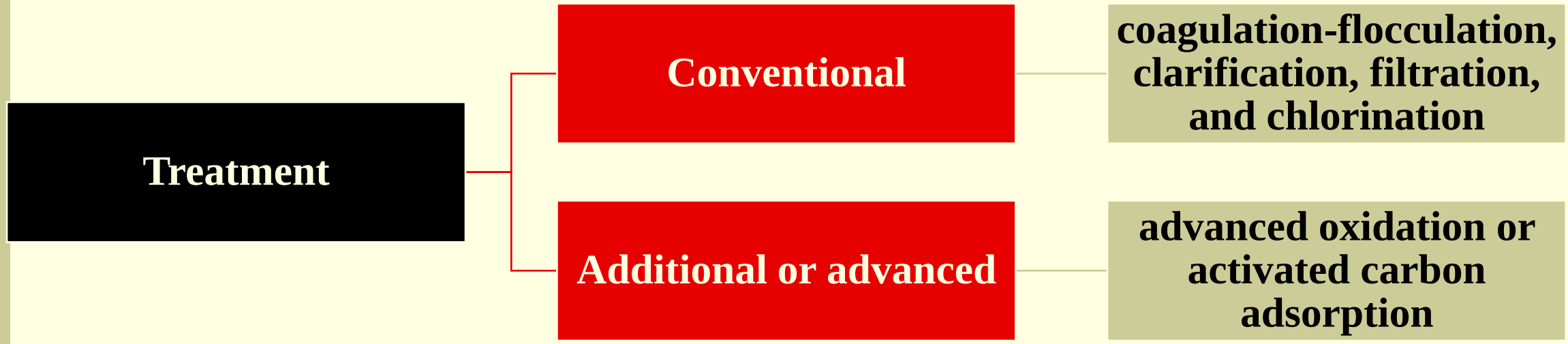
واکنش مصرف کنندگان:

۱.نوع طعم و بوی احساس شده در تمام نقاط شبکه توزیع آب شهر و در تمام ایام سال یکسان است؟

۲.آیا شدت و میزان شکایت مردم از طعم و بوی احساس شده در آب نقاط مختلف شبکه توزیع شهر یکسان است؟

۳. میزان طعم و بو در چه فصلی/ماهی/ساعاتی به اوج می رسد یا کاهش می یابد؟

تصفیه عوامل طعم و بوی بیولوژیک



به طور کلی، عوامل طعم و بوی داخل سلولی (میکروب ها و کلرفیل ها) را می‌توان به طور موثر با فرآیندهای متداول (انعقاد، لخته سازی، زلال سازی، فیلتراسیون، کلرزنی) حذف کرد، در حالی که عوامل طعم و بوی خارج سلولی (محلول شده در آب) نیاز به تصفیه پیشرفته دارد.

فرآیند های اکسیداسیون

فن‌آوری‌های متداول تصفیه آب مانند انعقاد، لخته‌سازی، ته نشینی و فیلتراسیون به دلیل غلظت آستانه بوی بسیار پایین، برای تخریب 2-MIB و GSM موثر نیستند. از این رو، تاسیسات آب آشامیدنی اغلب به سیستم‌های مبتنی بر اکسیداسیون پیشرفته مبتنی بر رادیکال هیدروکسیل (ORP برابر 2.8 V/SHE) برای کنترل ترکیبات طعم و بو متکی هستند. لازم به ذکر است نتایج مطالعات اخیر نشان می‌دهد استفاده از سیستم‌های اکسایش منفرد کارایی موثری ندارد و بهترین نتیجه در عمکلرد ترکیبی و همزمان فرآیندها رخ داده است.

اکسید کننده	ORP (V)
فلوئور	3.06
رادیکال هیدروکسیل	2.8
آنیون پرسولفات	2.01
ازن	1.24 (Alkaline condtion) 2.07 (Acidic condtion)
پراکسید هیدروژن	0.85 (Alkaline condtion) 1.78 (Acidic condtion)
پرمنگنات	0.58 (Alkaline condtion) 1.68(Acidic condtion)

فرآیند اکسیداسیون با ازن

- اکسیدان‌های رایج نظیر کلر، دی اکسید کلر و پرمنگنات معمولاً در اکسیداسیون GSM و 2- MIB مؤثر نیستند. ازن نیز صرفا می‌تواند به طور انتخابی برخی از ترکیبات حاوی پیوندهای غیر اشباع، ترکیبات آروماتیک فعال و آمین های غیر پروتونه را اکسید کند، اما ممکن است به غلظت‌های بالاتر و/یا زمان واکنش طولانی‌تری نیاز داشته باشد. در این شرایط پتانسیل تشکیل حدواسط های ناشی از ازن زنی نظیر **برومات و THMs برومینه نظیر بروموفرم** افزایش می یابد. این محدودیت لزوم کاربرد همزمان ازن با سایر اکسید کننده ها برای تولید رادیکال هیدروکسیل را کاملا توجیح می کند. چرا که هم زمان تصفیه را کاهش داده و هم دوز انزن مورد نیاز کمتر می گردد.

فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOP)

فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOP) منجر به اکسیداسیون غیرانتخابی ترکیبات طعم و بو با استفاده از رادیکال-های هیدروکسیل می شود که به صورت غیر انتخابی عمل می-کند. استفاده از AOP که تلفیقی از اکسید کنند های مختلف برای تولید رادیکال هیدروکسیل است می‌تواند با سینتیک سریع و غیر انتخابی مواد آلی سمی را تخریب و معدنی کند.

$$H_2O_2 + 2O_3 \rightarrow 2 \bullet OH + 3O_2$$

$$H_2O_2 \rightleftharpoons H^+ + HO_2^-$$

$$HO_2^- + O_3 \rightarrow HO_2^\bullet + O_3^{\bullet -}$$

$$HO_2^\bullet \rightleftharpoons O_2^{\bullet -} + H^+$$

$$O_2^{\bullet -} + O_3 \rightarrow O_2 + O_3^{\bullet -}$$

$$O_3^{\bullet -} + H^+ \rightleftharpoons HO_3^\bullet$$

$$HO_3^\bullet \rightarrow \bullet OH + O_2$$

AOP های توسعه یافته برای حذف GSM و MIB در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت

AOPs	
	Ozonation
	Ozone/hydrogen peroxide (peroxone)
	Ozone/ultraviolet radiation
	Ultraviolet radiation/hydrogen peroxide
	UV/chlorine
	Ultraviolet radiation/nanoparticle
	Ultrasonic irradiation
	Electrochemical, Fenton, photo-Fenton,

Ozonation

$$O_3 + HO^- \rightarrow O_2 + HO_2^-$$

$$O_3 + HO_2^- \rightarrow O_2 + O_2^{\bullet -} + HO^\bullet$$

$$O_3 + HO^\bullet \rightarrow O_2 + HO_2^\bullet$$

$$2HO_2^\bullet \rightarrow O_2 + HO^\bullet + HO^\bullet$$

$$HO_2^\bullet + HO^\bullet \rightarrow O_2 + H_2O$$

فرآیند ازن زنی یک فرآیند متداول است که برای گندزدایی آب به صورت پیش ازن زنی یا پس ازن زنی در تصفیه آب مورد استفاده قرار می گیرد. با این حال مهمترین محدودیت این فرآیند این است که ازن به صورت انتخابی مواد آلی را اکسید می کند و روی برخی ترکیبات نظیر GSM و 2-MIB اثر موثری ندارد. از سوی دیگر ازن زنی متداول پتانسیل بالایی برای تشکیل حدواسط هایی نظیر آلدئیدها، کتون ها، نیتروز آمین ها و به خصوص حدواسط سرطان زای برومات دارد. لذا باید تخریب ازن در محلول سریع و در کوتاه ترین زمان ممکن باشد. لذا اکثرا آن را در ترکیب با سایر اکسنده ها استفاده می کنند

Ozone/hydrogen peroxide (peroxone)

$$H_2O_2 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + HO_2^-$$

$$O_3 + HO_2^- \rightarrow HO^\bullet + O_2^{\bullet-} + O_2$$

- واکنش پراکسید هیدروژن با ازن که اغلب فرآیند پراکسون نامیده می‌شود، رادیکال‌های هیدروکسیل تولید می‌کند و از این فرآیند برای حذف برخی محصولات جانبی در تصفیه آب استفاده می‌شود. مشخص شده است که فرآیند پراکسون به طور موثر تشکیل برومات و مواد آلی طبیعی را در طول تصفیه آب کنترل می کند. اخیراً، حذف کامل بوی سپتیک از آب رودخانه Huangpu در چین با افزودن پراکسید قبل از ازن زنی گزارش شده است.

Ozone/ultraviolet radiation

$$O_3 + H_2O \xrightarrow{hv} H_2O_2 + O_2$$

$$2O_3 + H_2O_2 \rightarrow 2HO^{\bullet} + 3O_2$$

$$H_2O_2 \xrightarrow{hv} 2HO^{\bullet}$$

$$Br^- + O_3 \rightarrow BrO_3^-$$ بروومات

- ترکیب ازن با اشعه ماوراء بنفش در آب سبب تولید پراکسید هیدروژن می شود. گزارش شده است که غلظتGSM و MIB در آب توسط تابش ازن/ UV کاهش می یابد. اگرچه برخی مطالعات قبلی نشان داده است که فرآیند تابش ازن/UV اغلب حدواسط سرطان زای برومات را که نتیجه واکنش ازن با یون‌های برمید در آب است تولید می‌کند.

Ultraviolet radiation/hydrogen peroxide

$$H_2O_2 \xrightarrow{hv} 2HO^{\bullet}$$

$$H_2O_2 \leftrightarrow HO_2^- + H^+$$

$$HO^{\bullet} + H_2O_2 \rightarrow HO_2^{\bullet} + H_2O$$

$$HO_2^- + O_2 \rightarrow HO_2^{\bullet} + O_2^{\bullet -}$$

$$H_2O_2 + O_2^{\bullet -} \rightarrow O_2 + HO^- + HO^{\bullet}$$

$$HO_2^{\bullet} + HO^{\bullet} \rightarrow H_2O + O_2$$

- مکانیسم واکنش در فرآیند UV/H_2O_2 شامل سه مرحله (شروع، انتشار و خاتمه) است. رادیکال های هیدروکسیل واکنش نداده توسط پراکسید هیدروژن برای تولید بیشتر رادیکال ها مصرف می شوند زیرا رادیکال هیدروکسیل گونه فعال غالب است.

UV/chlorine

- استفاده همزمان از تابش اشعه ماوراء بنفش و کلر (UV/Cl) به طور گسترده در حذفGSM وMIB استفاده نشده است. در مطالعه ایی عملکرد آزمایشی و در مقیاس کامل فرآیند UV/Cl برای تخریب GSM و 2-MIB در دو آب سطحی مختلف بررسی شده است. راندمان فرآیند UV/Cl در pH 7.5 و 8.5 با فرآیند UV/پراکسید هیدروژن قابل مقایسه بود ولی درpH 6.5 بهتر بوده است. با این حال، تشکیل محصولات جانبی ناشی از کلر زنی یک نگرانی مهم در سیستم UV/Cl است.

Ultraviolet radiation/nanoparticle

$$TiO_2 + hv \rightarrow h^+_{TiO_2} + e^-_{TiO_2}$$

$$e^- + h^+_{TiO_2} \rightarrow \text{Energy}$$

$$H_2O + h^+_{TiO_2} \rightarrow HO^\bullet + H^+$$

$$O_2 + e^+_{TiO_2} \rightarrow O^{\bullet -}_{2TiO_2}$$

$$O^{\bullet -}_{2TiO_2} + H^+ \rightarrow HO^\bullet_2$$

$$HO^\bullet_2 + HO^\bullet_2 \rightarrow H_2O_2$$

$$H_2O_2 + e^- \rightarrow HO^\bullet + HO^-$$

$$O^{\bullet -}_{2TiO_2} + h^+ \rightarrow O_2$$

- فوتوکاتالیز هتروژن یک فرآیند فوتوکاتالیستی است که بر اساس تابش فوتوکاتالیست های نیمه هادی مانند TiO_2، CdS، WO_3 و ZnO با یک فوتون UV یا نور مرئی انجام می شود. در چند سال اخیر، فوتوکاتالیز ناهمگن به ویژه TiO_2 به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است و به دلیل فعالیت نوری، سمیت کم، بی اثری شیمیایی و بیولوژیکی و مقاومت در برابر خوردگی، بسیار امیدوارکننده در نظر گرفته شده است.

نتایج برخی مطالعات مختلف آزمایشگاهی در زمینه کاربرد AOP برای تخریب GSM و MIB

روش حذف	شرایط آزمایشگاهی	ترکیب آلاینده	غلظت اولیه آلاینده	کارایی تخریب
UV مجزا 254 nm	pH = 5 Time = 1 h	2-MIB GSM	0.1 µg/L	34.08 % 21.19 %
UV/Cl UV = 254 nm Cl = 0.5 mg/L	pH = 7 Time = 1 h and 40 min	2-MIB GSM	5 µg/L	100 % 100 %
UV/H2O2 UV = 1200 mJ/cm2 H2O2 = 6 mg/L	-	2-MIB GSM	0.306 µg/L 0.183 µg/L	65 % 90 %
UV/TiO2 UV = 365 nm TiO2 = 200 mg/L	Time = 25 min	2-MIB	1000 µg/L	100 %
Photo-Fenton UV = 3348 mJ/cm2 Fe2+ = 2 mg/L H2O2 = 20 mg/L	pH = 5 Time = 1 h	GSM	0.1 µg/L	48.38 %
Fenton Fe2+ = 2 mg/L H2O2 = 20 mg/L	pH = 5 Time = 1 h	GSM	0.1 µg/L	17 %
Ultrasound 640 KHz	Time = 40 min	2-MIB GSM	10 µg/L 10 µg/L	90 %< 90 % <
O3 مجزا غلظت 4.19 mg/L	pH = 7.3 Time = 20 min	2-MIB GSM	0.5 µg/L 0.5 µg/L	66 % 72%
O3 مجزا با غلظت 4 mg/L فرآیند پراکسون O3/H2O2 O3 = 2 mg/L H2O2:O3 = 0.2	Time = 12 min Time = 6 min	2-MIB GSM	100 ng/L	70 % 97%

نتایج تایید می کند فرآیند های اکسیدایسون مجزا کارایی کمتری دارند و برای رسیدن به عملکرد فرآیند های ترکیبی نیاز به غلظت های بیشتری دارند یا زمان واکنش باید افزایش پیدا کند.

کارایی حذف عوامل اصلی طعم و بو آب شرب در چند مطالعه full-scale با روش های تصفیه متفاوت

Treatment units	T&O compounds accumulative removal (total/extracellular)	Operational parameters and treatment unit chain	Raw water quality
1. Pre-ozonation	Extracellular MIB:16.14% Intracellular MIB: 15.91%	Pre-ozonation: ozone dose 0.5 mg/L	• Not reported
	MIB: 27%	Pre-ozonation: ozone dose 1 mg/L, contact time 3.4 min	• MIB: 0.14–35.48 ng/L
	Geosmin:24.3% MIB:21.2%	Pre-ozonation: ozone dose 1.1 mg/L, contact time 4.5 min	• Geosmin:13.08 ng/L • MIB:160.91 ng/L
	Geosmin: 33% MIB:29.9%	Pre-ozonation: ozone dose 0.30–1.20 mg/L, contact time 3.6 min	• Geosmin: 2.4-34.3 ng/L • MIB:4.8-32.6 ng/L

Treatment units	T&O compounds accumulative removal (total/extracellular)	Operational parameters and treatment unit chain	Raw water quality
2. Coagulation/ Flocculation	Intracellular Geosmin:52.59% MIB:90% Extracellular Geosmin:26.61% MIB:14.07%	• Coagulation: polyaluminium ferric chloride, 12 mg/L • Flocculation: dimethyl diallyl ammonium chloride, 2 mg/L	Intracellular • Geosmin: 0.6 (0.2–1.1) ng/L • MIB: 12.6 (0.6–4.0) ng/L Extracellular • Geosmin: 8.1 (4.8–12.1) ng/L • MIB: 60.2 (n.d.–193.4) ng/L
	Geosmin: 29.7% MIB:21.3%	• Coagulation: 5.6 min, 22.0–31.6 G (1/sec), • Flocculation: 71.9 min, 3.7–9.8 G (1/sec)	• Geosmin: 2.4-34.3 ng/L • MIB:4.8-32.6 ng/L

نتایج گزارش شده در مطالعات مختلف تایید می کند در واحد انعقاد و لخته سازی کارایی حذف GSM و MIB خارج سلولی به طور محسوسی کمتر است که این به دلیل محلول بودن عوامل طعم و بو می باشد

Treatment units	T&O compounds accumulative removal (total/extracellular)	Operational parameters and treatment unit chain	Raw water quality
3. Clarification	Intracellular Geosmin:63.99% MIB:95.09% Extracellular Geosmin: 24.55% MIB: 6.03%	• -	Intracellular • Geosmin: 0.6 (0.2–1.1) ng/L • MIB: 12.6 (0.6–4.0) ng/L Extracellular • Geosmin: 8.1 (4.8–12.1) ng/L • MIB: 60.2 (n.d.–193.4) ng/L
	Extracellular MIB:19.07% Intracellular MIB: 8.10%	• Sedimentation: retention time 100 min	Not reported
	Total MIB: 34%; BCIE: 25%	• Sedimentation:137 min	• MIB: 0.14–35.48 ng/L
	Total Geosmin:7.11% MIB:19.16%	• Sedimentation: retention time 1.75 h,	• Geosmin:13.08 ng/L • MIB:160.91 ng/L
	Total Geosmin: 35.7% MIB:20.5%	• Sedimentation: 3-4 h	• Geosmin: 2.4-34.3 ng/L • MIB:4.8-32.6 ng/L

Treatment units	T&O compounds accumulative removal (total/extracellular)	Operational parameters and treatment unit chain	Raw water quality
4. Filtration	Intracellular Geosmin:53.89% MIB:95.14% Extracellular Geosmin: 34.88% MIB: -20.10%	• Sand filtration	Intracellular • Geosmin: 0.6 (0.2–1.1) ng/L • MIB: 12.6 (0.6–4.0) ng/L Extracellular • Geosmin: 8.1 (4.8–12.1) ng/L • MIB: 60.2 (n.d.–193.4) ng/L • L
	Extracellular MIB:38.96% Intracellular MIB: 38.02%	• Sand filtration: retention time 10 min, back wash cycle 24h	• Not reported
	MIB: 52%	• Sand filtration: EBCT 34 min, backwash frequency 24-48 h	• MIB: 0.14–35.48 ng/L
	Total Geosmin:23.14% MIB:22.15%	• Sand filtration: flow velocity 8 m/h	• Geosmin:13.08 ng/L • MIB:160.91 ng/L
	Geosmin: 32.1% MIB:20.5%	• Sand filtration: flow velocity 74.1 (m/d)	• Geosmin: 2.4-34.3 ng/L • MIB:4.8-32.6 ng/L

Treatment units	T&O compounds accumulative removal (total/extracellular)	Operational parameters and treatment unit chain	Raw water quality
5. Oxidation	MIB:50.17%	· Post-ozonation: ozone dose 1 mg/L, contract time 12 min	· Not reported
	MIB:25%	· Post-ozonation: ozone dose 1.0 mg/L, contact time 15 min	· MIB: 9.2-15.9 ng/L
	MIB: 73%	· Post-ozonation: ozone dose 1.5 mg/L, contact time 14 min	· MIB: 0.14–35.48 ng/L
	Geosmin:64.11% MIB:62.63%	· Post-ozonation: ozone dose 1.8 mg/L, contact time 10 min	· Geosmin:13.08 ng/L · MIB:160.91 ng/L
	Geosmin: 42.9% MIB:27.6%	· Postozonation: ozone dose 0.40–1.20 m/L, contact time 3.6 min	· Geosmin: 2.4-34.3 ng/L · MIB:4.8-32.6 ng/L

Treatment units	T&O compounds accumulative removal (total/extracellular)	Operational parameters and treatment unit chain	Raw water quality
6. Activated carbon adsorption	MIB:61.18%	· GAC: EBCT 10 min	· Not reported
	MIB:75%	· BAC filter: EBCT 16 min,	· MIB: 9.2-15.9 ng/L · L
	MIB: 93%	· GAC: EBCT 14 min,	· L · MIB: 0.14–35.48 ng/L
	Geosmin:100% MIB:97.03%	· BAC: EBCT 15 min,	· Geosmin:13.08 ng/L · MIB:160.91 ng/L

مطالعه ی عوامل ایجاد طعم و بوی نامطلوب آب آشامیدنی شهر همدان و ارائه راهکارهای عملیاتی جهت حذف یا کاهش آن

اهداف فرعی

۱- تعیین کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب شرب در منبع آب تا شبکه توزیع آب به منظور شناسایی عوامل اصلی ایجاد طعم و بو مطابق جدول ۳

۲- تعیین اثر pH آب در فرآیند پروکسن در حذف GSM و 2-MIB

۳- تعیین اثر غلظت ازن محلول در حذف GSMو 2-MIB

۴- تعیین اثر نسبت غلظتی پراکسید هیدروژن به ازن در حذف GSM و 2-MIB و تعیین نسبت بهینه پراکسید هیدروژن/ازن

۵- تعیین اثر زمان واکنش در فرآیند پروکسن در حذف GSM و 2-MIB

۶- تعیین غلظت ازن باقی مانده در طی واکنش پروکسن

۷- تعیین غلظت آنیون‌های بروماید و برومات در خلال فرآیند پروکسن و فرآیند ازن زنی مجزا در شرایط بهینه

۸- تعیین کیفیت "فیزیکی و شیمیایی" آب تصفیه شده با فرآیند پروکسن مطابق فاکتورهای جدول ۳

۹- تعیین اثر دوز سدیم آلومینات و کلسیم هیدروکسید و تعیین نسبت دوز بهینه آن‌ها در فرآیند ترسیب نمک فریدل در حذف کلراید و سولفات و منیزیم

۱۰- تعیین اثر زمان واکنش در فرآیند ترسیب نمک فریدل در حذف کلراید و سولفات

۱۱- تعیین کیفیت "فیزیکی و شیمیایی" آب تصفیه شده با فرآیند نمک فریدل مطابق فاکتورهای جدول ۳

۱۲- تعیین اثر فرآیند پس-کربناسیون با فرآیند هوادهی در اصلاح کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب تصفیه شده با فرآیند نمک فریدل مطابق فاکتور های جدول ۳

مطالعه ی عوامل ایجاد طعم و بوی نامطلوب آب آشامیدنی شهر همدان و ارائه راهکارهای عملیاتی جهت حذف یا کاهش آن

هدف کاربردی

نتایج و تحلیل داده های حاصل از این طرح پژوهشی جامع می تواند ماتریس تغییرات و پروفایل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب شرب همدان در زنجیره منبع، تصفیه خانه، مخزن و شبکه توزیع را مشخص کند که این قضاوت درباره کیفیت آب شرب همدان منشا شده از سد تالوار را مستند می کند. علاوه بر این با شناسایی دقیق فاکتور هایی که غلظت آنها بیشتر از آستانه طعم و بو است می توان راهکار های مدیریتی و فرآیندی مناسبی برای به حداقل رساندن این معضل اساسی مطرح و پیاده سازی کرد.

مطالعه ی عوامل ایجاد طعم و بوی نامطلوب آب آشامیدنی شهر همدان و ارائه راهکارهای عملیاتی جهت حذف یا کاهش آن

این مطالعه تجربی در سه فاز در دانشگاه علوم پزشکی همدان بر روی آب آشامیدنی شهر همدان انجام خواهد شد. در فاز اول مطالعه فاکتورهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مطابق جدول ۳ بر روی نمونه‌های تهیه شده مطابق با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی انجام می‌گیرد. طبق پیش آزمون‌هایی که در آذر ۱۴۰۲ بر روی نمونه‌های آب خروجی شهید بهشتی، مخزن آزاد، مخزن لونا پارک و مخزن امید اکباتان انجام شد، مشخص شد غلظت تعدادی از عوامل ایجاد کنند طعم و بو از جمله منیزیم، کلرور، سولفات، GSMو 2-MIB در مقادیری بالاتر از آستانه طعم و بو می‌باشد، لذا این عوامل مشکوک به ایجاد طعم و بو هستند. با این حال، در آنالیزهای بعدی بر روی نمونه‌های آب در نقاط مختلف منبع و شبکه توزیع تمام فاکتورهای اصلی با شناسایی و بررسی و تائید گردند. هدف این مطالعه در فاز دوم ارائه راهکارهای عملیاتی برای حذف و کاهش عوامل اصلی تولید تولید طعم و بو در آب شرب همدان می باشد. فرآیند مورد مطالعه برای کاهش غلظت های GSM و 2-MIB فرآیند پروکسن است که شامل فرآیند همزمان ازن زنی و پراکسید هیدروژن می‌باشد. در این فرآیند اثر متغیرهایی نظیر pH محلول (۷، ۵/۷ و ۸)، غلظت ازن (۵/۰، ۱ و ۵/۱ میلی گرم بر لیتر)، نسبت غلظت پراکسید هیدروژن به ازن (۲۵/۰، ۵/۰ و ۱) و زمان واکنش (۵/۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه) مطالعه خواهد شد. غلظت ازن باقیمانده و احتمال حضور آنیون‌های بروماید و برومات نیز در شرایط بهینه شده آزمایشگاهی مطالعه می‌گردد.

نتایج پیش آزمون مقایسه ازن زنی و فرآیند پروکسن در حذف عوامل GSM و MIB و تولید حدواسط های فرآیند

کارایی حذف

No.	Compound Name	Units	Initial	Ozonation O3 = 0.5 mg/L Time = 15 min pH = 7.8	Peroxone O3 = 0.5 mg/L H2O2:O3 = 1 Time = 15 min pH = 7.8
1	Isoborneol	ppb	12.3	0.32 (97.4%)	0.1 (99.7%)
2	Geosmin	ppb	5.8	2.75 (52.8%)	0.6 (89.6%)

حدواسط های تولیدی

No.	Compound Name	Units	Ozonation O3 = 0.5 mg/L Time = 15 min pH = 7.8	Peroxone O3 = 0.5 mg/L H2O2:O3 = 1 Time = 15 min pH = 7.8	Drinking water standard (ppm)
1	Chloroform	ppb	9.7	9.1	0.3
2	Dichlorobromomethane	ppb	5.6	4.3	0.06
3	Dibromochloromethane	ppb	2.5	2.1	0.1
4	Bromoform	ppb	<2	<2	0.1

جدول ۳. پارامتر های فیزیکی و شیمیایی آب شرب در منبع آب تا شبکه توزیع آب همدان به منظور شناسایی عوامل اصلی ایجاد طعم و بو

شماره	فاکتور	شماره	فاکتور	شماره	فاکتور
۱	دمای آب	۲۰	کربنات	۳۷	آرسنیک
۲	رنگ	۲۱	بی کربنات	۳۸	سرب
۳	هدایت الکتریکی	۲۲	کلراید	۳۹	کادمیوم
۴	pH آب	۲۳	سولفات	۴۰	کروم
۵	کدورت	۲۴	نیترات	۴۱	بور
۶	اکسیژن محلول	۲۵	نیتریت	۴۲	باریوم
۷	کل جامدات محلول	۲۶	فسفات	۴۳	جیوه
۸	قلیایئیت فنل فتالئین	۲۷	فلوراید	۴۴	کبالت
۹	قلیائیت متیل اورنج	۲۸	آمونیا	۴۵	مس
۱۰	سختی کل	۲۹	شوری	۴۶	روی
۱۱	سختی کلسیم	۳۰	دترجنت	۴۷	قلع
۱۲	سختی منیزیم	۳۱	سولفید	۴۸	منگنز
۱۳	کلسیم	۳۲	کل کربن آلی	۴۹	آهن
۱۴	منیزیم	۳۳	کشت اکتینومیست‌ها	۵۰	آلومینیوم
۱۵	سدیم	۳۴	کشت سیانوباکترها	۵۱	تری هالومتان‌ها
۱۶	سولفید هیدروژن	۳۵	کلرفیل آ	۵۲	برومات
۱۷	پتاسیم	۳۶	ژئوسمین	۵۳	بروماید
۱۸	کلر آزاد	۳۷	2-MIB	۵۴	ازن باقیمانده

THANK YOU!

دانشگاه علوم پزشکی همدان