

## دستورالعمل طراحی برکه‌های تبخیری به منظور دفع

### مواد زاید خطرناک مایع

امیر حسام حسنی<sup>۱</sup>

امیر حسین جاوید<sup>۲</sup>

فرامرز ناصری<sup>۳\*</sup>

[f.naseri@engineer.com](mailto:f.naseri@engineer.com)

تاریخ پذیرش: ۸۵/۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۸۴/۱۲/۲۰

دفع مواد زاید خطرناک مایع یکی از مباحث جدی و عمده دانش و فن آوری محیط زیست است. که بایستی بر اساس قوانین، راهکارهای مهندسی و استانداردهای دقیق و روشن صورت پذیرد. از این رو بررسی روش های مختلف دفع با توجه به موقعیت جغرافیایی و اقلیمی و نیز شرایط اقتصادی جهت انتخاب روش مناسب و بهینه حایز اهمیت می باشد. در این تحقیق لاگون های تبخیری به عنوان یکی از راهکارهای فنی مهندسی دفع این مواد با توجه به شرایط آب و هوایی و اقتصادی ایران مورد بررسی فنی و اقتصادی قرار گرفته و در ادامه دستورالعمل طراحی آن ها ارایه گردید. سپس با توجه به آمار بارش و تبخیر ده ساله ورودی به مدل سیستم تبخیری که از سال ۱۹۹۱ لغایت ۲۰۰۰ میلادی در شهر اصفهان می باشد و حداکثر فاضلاب ورودی فرض شده ۱۴۳۰۰ متر مکعب در سال، طی دوره ده ساله طراحی توسط رایانه صورت گرفت. طبق نتایج حاصل از برنامه رایانه ای مدل به کار رفته، حوضچه تبخیری به ابعاد ۱۲۴×۶۲ متر و عمق ۲/۵ متر با شیب ۱:۲ پیشنهاد گردید. لازم به ذکر است عمق مایع در لاگون طراحی شده پس از چک کردن حداکثر عمق فاضلاب در طول بهره‌برداری ۱۰ ساله ۱/۷۶ متر می باشد که این رقم بیانگر طراحی مناسب و بهینه حوضچه باتوجه به شرایط جوی و داده‌های مفروض است.

**واژه های کلیدی:** برکه‌های تبخیری، مواد زاید خطرناک مایع، دستورالعمل طراحی

۱- استادیار، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۲- دانشیار، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۳- دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست (آب و فاضلاب) دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات\* (مسئول مکاتبات)

## مقدمه

انتشار ترکیبات فرار از سطح این حوضچه ها می تواند باعث آلودگی هوای منطقه شود. سرریز مواد زاید از قسمت فوقانی حوضچه و دیواره های کناری آن نیز می تواند تهدیدی برای آب های سطحی باشد. برای جلوگیری از آلودگی های آب های زیرزمینی و سطحی توسط این مخازن استفاده از سیستم پوشش غیر قابل نفوذ در کف و جداره مخزن و همچنین استفاده از سیستم کشف، جمع آوری و حذف شیرابه در زیر لایه و پوشش غیر قابل نفوذ، ضروری است (۲).

## فرضیات طرح

نیازهای حوضچه تبخیر شامل یک سلول با ظرفیت کافی جهت رسوب گیری و انتقال مستقیم آب ورودی اضافی و آب باران به حوضچه می باشد. در ضمن حوضچه می بایست طوری طراحی شود که حد اکثر آب ورودی مورد نیاز را در زمانی که ناحیه سطحی حوضچه به حداقل می رسد پذیرا باشد و همچنین باید توجه داشت که گل ولای می بایست همیشه در ته حوض باقی بماند. سایز بندی صحیح حوضچه به وضوح بیشترین کاهش عمق را در سطح آب نشان می دهد بدون این که حوضچه خشک شود. در صورت نیاز برای حفظ گل ولای موجود در کف حوض از آب توازن اضافی استفاده خواهد شد. محاسبه آب توازن مورد نیاز با توجه به شرایط گوناگون طرح، در فایل مهندسی پیش بینی می شود. بنابراین تنوع پذیری و حفاظت، از عناصر بسیار مهم درسایز بندی حوضچه های تبخیر می باشد. دقت نظر در سایز بندی حوضچه ها امکان ذخیره سازی منابع عظیم فاضلاب ورودی و نوسانات شدید سطح فاضلاب را در سال های پر باران فراهم می کند. کار طراحی حوضچه ها با محاسبه آب تنظیمی (بالانس) و سناریو مشخص و دوگانه از قبیل شرایط کاری متفاوت و ارزیابی آن به انجام می رسد سناریوی اول اندازه و سایز بندی لاگون با توجه به شرایط متوسط جوی شامل محاسبه رسوب ده سال کاری جهت ساختن فضای تبخیر لاگون برای حفظ تعادل آب ورودی و ظرفیت تبخیر می باشد. و سناریوی دوم توجه به ارتفاع ذخیره

تولید پسماند، پیامد ناگزیر و وجه مشترک تمامی فرآیندهای تولید، توزیع و مصرف مواد و انرژی در جوامع کنونی است. بخشی از این پسماندها به دلیل آثار و عوارض حاد و یا مزمنی که بر سلامت انسان و کیفیت محیط زیست بر جای می نهند، تحت عنوان پسماندهای زیانبار، پسماندهای خطرناک و یا پسماندهای ویژه تعریف و دسته بندی شده اند. بزرگ ترین بخش از این گونه پسماندها از تولید و مصرف میلیون ها ماده شیمیایی سرچشمه می گیرند که در قرن حاضر به جوامع و طبیعت معرفی شده اند و مکانیزم دفاعی طبیعی برای مقابله با آن ها وجود ندارد، این در حالی است که حل و فصل مشکلات ناشی از تولید پسماندهای خطرناک بسیار پرهزینه است و میزان هزینه هایی که در عرصه مدیریت پسماندهای خطرناک در کشورهای توسعه یافته به مصرف می رسد بین ۱ تا ۱۰ دلار به ازاء هر نفر در سال متغیر می باشد (۱).

از این رو راهکار و روش دفع این پسماندها به دلیل خطرناک بودنشان حایز اهمیت می باشد، لذا هر کدام از راهکارهای دفع پسماندهای خطرناک می بایست تمام مراحل دفع این مواد را در برگیرد و در این میان دفع به روش لاگون های تبخیری به عنوان یکی از روش های دفع در مناطق گرمسیر؛ به دلیل توجیه اقتصادی و سهولت عملیات ساخت و سادگی دفع از اهمیت ویژه برخوردار است.

## حوضچه تبخیری

حوضچه تبخیری، حوضچه نگه داری موقتی می باشد که مواد زاید مایع را در خود نگه داری می کند و در طی نگه داری مواد زاید عمل تبخیر و کاهش مواد فرار اتفاق می افتد. به طور کلی برتری های این سیستم استفاده از انرژی طبیعی خورشید و انتخاب امکان تصفیه طبیعی برای دفع فاضلاب می باشد. پس همواره می بایست این نکته را در نظر گرفت که این سیستم باید در آب و هوای مساعد به کار برده شود و محل هایی برای اجرای این سیستم مناسب است که دارای زمین کافی و ارزان باشد. نشت مواد زاید مایع از این حوضچه ها مهم ترین تهدید برای آب های زیرزمینی محسوب می شود. همچنین

حجم حوض از رابطه (۳) قابل محاسبه می باشد:

$$V = \frac{1}{3}h(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2}) \quad (3)$$

h عمق حوض،  $A_1$  سطح بالایی حوض،  $A_2$  مساحت کف حوض می باشد.

ذخیره حوضچه از رابطه (۴) قابل محاسبه می باشد:

= ذخیره حوضچه

(نشت خروجی + تبخیر خروجی) - (فاضلاب ورودی + باران

ورودی)

$$V = (P + Q) - (E + i) \quad (4)$$

سطح کف حوض با توجه به داشتن نسبت شیب دیواره حوض (۲ به ۱) و ابعاد سطح حوض از رابطه (۵) قابل محاسبه می باشد:

$$A_2 = (b - 4h)(2b - 4h) \quad (5)$$

عمق حوض به صورت محاسبات آزمون و خطا از رابطه (۶) قابل محاسبه است:

$$V = \frac{1}{3}h[(b * 2b) + ((b - 4h)(2b - 4h))] + \sqrt{[(b * 2b)((b - 4h)(2b - 4h))]} \Rightarrow \quad (6) \quad (4 \text{ و } 5)$$

حوضچه لایروبی شده باشد. به عبارت دیگر هر چه گل ولای

بیشتر باشد آب تصفیه شده خروبی بیشتر کاهش می یابد.

- **شکل هندسی لاگون:** برکه تبخیر مورد نظر به شکل مستطیل با نسبت طول به عرض ۲ به ۱ می باشد و شیب خاکریز کناره ۲ به ۱ می بایست در نظر گرفته شود تا سطح تبخیر بالایی حاصل شود.

- **درجه بندی حوضچه:** کف حوضچه با درجه بندی ۱ تا ۲ درصد مدرج می گردد و دلیل این کار تغییر سطح تبخیر حوض به واسطه بروز رسوب گل ولای در کف حوض می باشد. وجود بارش فراوان موجب پر شدن فضای درجه بندی شده کم عمق حوض و در نتیجه افزایش سطح تبخیر می شود. در حالی که ممکن است خشک سالی بلندمدت سبب کاهش این سطح بشود، لذا نقطه آغازین برای هرگونه تغییر در سطح آب

فعال حوضچه با توجه به نسبت ذخیره سازی بیش از حد در سه سال متوالی پر باران را دارد. لذا طرح پیشنهاد شده حوضچه تبخیر، حساسیت فوق العاده ای به ضعف و نقصان این سیستم بر شرایط بالقوه بحرانی دارد که در مورد عمق آزاد و مقدار آن آزمایش شده است. میزان و مقدار آب در لاگون در یک سال آبی متوسط چک می شود و همچنین عمق آزاد نیز می بایست جهت تحمل امواج حاصل از حد اکثر سرعت باد چک شود (۳).

### فرمول ها و توابع

میزان تبخیر از رابطه (۱) قابل محاسبه می باشد:

$$(1) \text{ (تبخیر در تشطک تبخیر) } = K_1 K_2 = \text{تبخیر در حوضچه}$$

$K_1$  ضریب تشطک است که در تبدیل اطلاعات تشطک تبخیر به برآورد تبخیر در لاگون به کار می رود و  $K_2$  ضریب اصلاح شوری آب می باشد.

سطح تبخیر از رابطه (۲) قابل محاسبه می باشد:

$$A = \frac{Q}{E - P} \quad (2)$$

Q فاضلاب ورودی، E تبخیر خروجی، P باران ورودی، A سطح تبخیر می باشد

سطح تبخیر ماهانه از رابطه (۷) قابل محاسبه می باشد:

$$(7) \text{ سطح تبخیر ماهانه} = \left[ \left( b' + \left( \frac{Q}{A'} \right) * 4 \right) \left( 2b' + \left( \frac{Q}{A'} \right) * 4 \right) \right]$$

$$A' = \frac{1}{3}(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$$

( $A_1$ ) مساحت سطح حوض و ( $A_2$ ) مساحت کف حوض، ( $Q_1$ ) دبی فاضلاب ورودی در ماه بهره برداری و ( $b'$ ) عرض کف حوض می باشد.

### دستور العمل طراحی

#### اطلاعات اجرایی

- **شرایط کاری:** جهت حصول به حداکثر آب فرایند ورودی و فرو شسته این گونه در نظر گرفته شد که حد اکثر آب فرایند سالانه در سلول تبخیر، زمانی حاصل می گردد که یک بار

- رسوب سازی: به دلیل این که حوضچه متناوباً در فصل های بی بارش که سطح آب بسیار پایین است تمیز می گردد لذا میزان رسوب سازی در محاسبات لحاظ نمی گردد.

- عمق آزاد حوضچه: عمق آزاد در حوضچه ۴۰ تا ۵۰ سانتی متر و حداکثر عمق حوضچه به همراه عمق آزاد ۳/۵ متر می باشد این عمق جهت شرایط بحرانی در نظر گرفته می شود.

- نشت خطی: در این مدل میزان نشت با توجه به استفاده از پوشش های مختلف متغیر بوده و ضرایب هر کدام می تواند در مدل اعمال شود و مقدار این نشت در محاسبات مربوط به تعادل آب لحاظ می گردد.

- تصعید: تصعید همان تبخیر آب به سوی جو است و این مورد به علت مشکل بودن پیش بینی دقیق شرایط جمع آوری و زمان دوام برف بر روی زمین و همچنین درصد ذوب برف در مدل فوق و محاسبات مربوط به آن لحاظ نمی شود. در نتیجه بر آورد محافظه کارانه از آب باقی مانده در حوض خواهیم داشت (۶).

- معادله تعادل آب: طرح حوضچه تبخیر از مراحل ماهیانه برداشت آب بر اساس ورودی طرح ایجاد شده است و مقدار آب در هر مرحله مطابق رابطه (۴) محاسبه می شود.

### معیارهای طرح

#### آب باران در آبیگری حوضچه

مقدار باران ورودی در بر دارنده تعادل آب در پر آب ترین سال و سال متوسط در طول ۱۰ سال متوالی می باشد. این ارقام در اداره هواشناسی ملی برداشته می شود. با توجه به این ارقام و اطلاعات مشخص می گردد که در پر آب ترین سال این دوره، ماه خشک هم می تواند وجود داشته باشد. در ضمن بررسی ظرفیت ذخیره سازی و تبخیر حوضچه را بر پایه سالانه مورد آزمایش قرار می دهند و آب باقی مانده در پایان ماه قبل به آب ماه بعد اضافه می شود و بدین ترتیب ماه کم آب به وسیله ماه های پر آب تر، قبل از پایان سال تنظیم می گردد (۷).

اختیاری است. بنابراین فقدان دلیل قانع کننده جهت بروز چنین احتمالی باعث شده است که فضای درجه بندی حوضچه از چاهک تا ارتفاع بالای فضای شیب دار کف حوض را به عنوان ذخیره راکد قلمداد کرد. شایان ذکر است که فاصله بین شیب ته حوض تا شیب کنار حوض بخش ذخیره فعال است و این قسمت تعیین کننده میزان تبخیر حوضچه می باشد. در ضمن ارتفاع این فضا از بالای شیب ته حوض محاسبه می گردد. در حقیقت کف حوض که در این جا تشریح شده است از این نقطه آغاز و با شیب جانبی ۲ به ۱ به سمت بالا ادامه می یابد. لازم به ذکر است که این شیب سبب نوسان سطح آب می گردد (۴).

- باران پذیری و سطح تبخیر: نوسانات سطح بر اساس شیب ۲ به ۱ ذخیره فعال حوض می باشد که این نوسان را می توان با نسبت کف استخر به بالای استخر محاسبه کرد و یا می توان با توجه به تغییرات عمق، سطح تبخیر را محاسبه نمود. اما باید توجه داشت که در مرحله آغازین کنترل طرح، سطح تبخیر برابر سطح حوض می باشد که از طریق روابط هرم ناقص به دست می آید. در مراحل بعدی کنترل، سطح تبخیر از روی عمق فاضلاب موجود در مرحله قبل (منظور ماه قبل) با توجه به شیب حوض محاسبه می گردد. اما در تمامی مراحل کنترل، چه در آغاز و چه در مراحل بعدی سطح باران گیر، همان سطح بالایی حوض می باشد.

- حداقل و حداکثر عمق آب: سایز بندی اصولی و صحیح حوضچه بیانگر بیشترین کاهش سطح آب بدون خشک شدن حوضچه می باشد. اما گاهی اوقات با توجه به شرایط متغیر آب و هوایی ممکن است حوضچه خشک شود. برای جلوگیری از این عمل از آب تعادل استفاده شد تا حد اقل عمق حوض به ۴۰ سانتی متر برسد و این آب با استفاده از اختلاف عمق آب کمتر از ۴۰ سانتی متر از رقم ۴۰ در مساحت کف حوضچه به دست می آید که باید در طول ماه به صورت شبانه روز (لیتر بر ساعت) توسط اپراتور به حوض اضافه شود تا از خشک شدن آن جلوگیری نماید (۵).

### آب حاصل از فرآیند ورودی

طبق مختصات اجرایی، کل آب فرآیند تولیدی از تجهیزات و سیستم ها، شامل فاضلاب قسمت های طبقه بندی، ذخیره سازی وسایز بندی و تجهیزات تصفیه و آب قابل بهره برداری از چاه ها می باشد. به علاوه مقداری آب نیز در ابتدای کار، در حوضچه تخلیه می شود که این آب تنها بخشی از ذخیره را که را پر می کند و چون این مقدار آب به عنوان آب بالانس وارد ذخیره فعال نمی شود، پس در زمره آب ذخیره فعال قرار نمی گیرد (۸).

### تولید فاضلاب

به علت زیاد بودن فاضلاب و تولید زیاد آن در سلول تبخیر، این روش در سایز بندی لاگون تبخیری مورد استفاده قرار می گیرد. برای تعیین مساحت، سطح تبخیر، میانگین فاضلاب تولیدی در طول یک دوره ده ساله منظور می گردد و برای تعیین عمق فاضلاب، بالاترین تولید فاضلاب سالانه در یک دوره ده ساله محاسبه خواهد شد. چنین به نظر می رسد که برای تعیین ارتفاع و عمق لاگون نیاز است تا ذخیره فعال آن قابلیت ورودی تا ۳ سال بدین گونه را داشته باشد.

### تبخیر

در لاگون تبخیری از اطلاعات و برآوردهای تبخیر طبق رابطه (۱) استفاده می شود. در این رابطه ضریب تشطک در محاسبات لحاظ نمی گردد زیرا داده های تبخیر از سازمان هواشناسی کشور گرفته می شود و قبلا توسط آن سازمان اعمال گردیده است،  $K_2$  ضریب اصلاح شوری آب می باشد. میزان تبخیر به دلیل وجود املاح و نمک در آب تقلیل می یابد. فاضلاب ذخیره شده در لاگون به علت تبخیر نمک بیشتری را دارد. کلرید سدیم تا غلظت ۲۶٪ از لحاظ وزن در آب قابل حل است. هر چند به دلیل وجود آب باران و فاضلاب ورودی تازه غلظت نمک در سطح حوضچه به حد اشباع نخواهد بود. حداکثر غلظت عملی ترکیبات نمکی ارایه شده ۱۷٪ می باشد. البته این غلظت در فاضلاب های مختلف متفاوت است. این میزان

تبخیر آب را حدود ده درصد کم می کند که برابر با کاهش نرخ تبخیر می باشد. بنابراین ضریب اصلاحی شوری آب در این کاربری ۰/۹ با توجه به تاثیر نمک موجود در فاضلاب بر روی تبخیر انتخاب شده است. در این کار بری فرض شده است که فاضلاب فاقد کف و یا روغن که باعث تقلیل میزان تبخیر می گردد باشد (۹). [EPA, 1980]

### چرخش موجی در اثر باد مداوم

آنالیز سرریز شدن خاکریز حوضچه تبخیر نیروی بالقوه ای را برای سرریز شدن حوضچه تبخیر بر اثر باد ارزیابی می کند. تحلیل ترکیبی موج (تغییر در ارتفاع سطح آب بر اثر فشار باد) ارتفاع موج و مدت آن و حرکت عمودی موج برای تعیین حداکثر حرکت عمودی موج و برخورد با شیب خاکریز انجام گردید. طرح ۵۰ سانتی متری آبخور حوضچه در برابر بادی با سرعت ۱۱۲ کیلومتر در ساعت و تداوم کافی برای لبریز شدن خاکریز آزمایش شد. نتایج این تحلیل در قسمت سایز بندی لاگون تبخیری آمده است (۴).

### محاسبات

پارامترهای سایز بندی یک لاگون مطلوب تبخیری و عمق ذخیره فاضلاب آن در دو مرحله مشخص گردید. در اولین مرحله یعنی سایز بندی حوضچه تعیین مساحت سطح لاگون به نحو مطلوب است. مساحت سطح تبخیری جهت تبخیر میانگین فاضلاب و آب باران و آب فرایند ورودی محاسبه گردید و عمقی برای لاگون انتخاب شد که اجازه ذخیره فاضلاب اضافی و گل ولای انباشته احتمالی در صورت بدی آب و هوا در طول ۳ سال متوالی را بدهد.

### حصول مساحت سطحی دلخواه حوضچه با تکرار آزمایش

جهت تعیین سطح تبخیری و میانگین رسوب و فاضلاب تولیدی برکه تبخیری از دوره ده ساله کمک گرفته شد و اندازه حوضچه را از راه آزمون و خطا و با تنظیم مقدار مساحت سطحی کف حوضچه به متر مربع در یک سال آبی متوسط تعیین گردید

در شرایط آب وهوایی متوسط بجز یکی بیش از صفر باشد و در ماه مرداد به صفر برسد.

ب: با محاسبه سیلاب هایی که در یک سال متوسط رخ می دهد حداکثر عمق حوضچه برای قابلیت جذب چنین حوادث حساب می شود و همچنین آبیگری لاگون در دوره سه ساله با شرایط بد منجر به تهیه حوضچه ای عمیق تر از حالت قبل می شود.

ج: طبق آنالیز لاگون تبخیری بر آورد عملیاتی برای بادی با سرعت ۱۱۲ کیلومتر در ساعت وحد اکثر عمق آب بالاتر از سطح راکد آب حوضچه می باشد که برابر ۷۰ سانتی متر زیر تاج خاکریز حوض است و چنین بر آورد گردید که جریان بادی با سرعت بیش از ۳۲۰ کیلومتر نیاز است تا ارتفاع موج آب را به تاج خاکریز برساند. با این سرعت ارتفاع آب به یک فوتی زیر خاکریز می رسد و مستدل ترین نتیجه این است که موج آب تحت سرعت باد قابل تصور از تاج خاکریز سر ریز نخواهد کرد. بنابراین ۵۰ سانتی متر آبخور برای جلوگیری از سرریز کردن کافی است (۴).

#### نتایج حاصل از اعمال دستورالعمل برای یک مورد

##### مطالعاتی نحوه عملکرد برنامه

در ابتدای کار با داشتن آمار بارش و تبخیر در طی سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ میلادی منطقه مورد نظر (شهر اصفهان) میانگین دوره های سه ساله متوالی آن ها محاسبه می گردد یعنی از سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۳ و ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴ و ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۵ و ... لازم به ذکر است که با توجه به وجود این احتمال که ممکن است آمار داده های تبخیر در برخی از ماه های سال داده نشده باشد، لذا از داده های موجود میانگین گرفته می شود و خلاصه ناشی از آن با استناد به سال های دوره های دیگر بر طرف می گردد که در جدول ۲ آمار بارش و تبخیر ۱۰ ساله شهر مفروض ( اصفهان) نشان داده شده است. از روی جدول محاسبات و طراحی جدول ۳ حداقل اختلاف بین بارش و تبخیر سه ساله در طی دوره ۱۰ ساله جهت انجام محاسبات سطح تبخیر انتخاب می شود که ۱۶۴۲/۵۳۷ میلی متر در سال می

تا هیچ گونه آب سطحی در انباره فعال باقی نماند. برای مشخص کردن آب مازاد از یک سال به سال بعد آب باقی مانده در آخرین ماه سال را بر پایه این آب باقی مانده مشخص نموده و مجموع آب آخرین ماه سال به آب اولین ماه سال جدید که مبین آب بالانس است افزوده گردید. این چرخه و تکرار این عمل ادامه یافت تا سطحی به دست آمد که هیچ آب بالانسی در یک نقطه از سال با جمع آب آخرین و اولین ماه سال جدید ایجاد نگردد. این فضا اینک به طور مداوم قادر است تا تمام آب دریافتی در یک شرایط متوسط را تبخیر نماید. بنابراین مساحت سطح به نحوه دلخواهی تنظیم گردید تا هیچ سطح تبخیر مازادی از مقدار مورد نیاز در یک دوره متوسط ایجاد ننماید. مرحله بعدی ایجاد عمق لازم جهت ذخیره آب می باشد تا با نوسان بیشتر از حد متوسط برابری نماید. تعیین عمق ذخیره فاضلاب در انباره فعال حوضچه در زیر تشریح شده است.

##### تنظیم عمق لاگون برای ورودی بیش از حد متوسط

برای تعیین عمق فعال لاگون انباره ای مورد استفاده قرار گرفت که قابلیت جابه جایی باران و فاضلاب تولیدی را در بدترین حالت سه سال متوالی داشته باشد. اطلاعات ورودی سه سال بحرانی و متعاقب آن یک سال متوسط در برنامه ای تنظیم گردید تا میزان باران سالانه در یک دوره ده ساله منعکس گردد. عمق فاضلاب باقی مانده برای سه سال به همراه عمق فاضلاب مازاد سال اول به سال های دوم و سوم مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته و تعدیل سایز بندی عمق حوضچه برای تطابق و برابری با مقدار آب اضافی انجام گردید. عمق و سطح لاگون با استفاده از سناریویی مشابه برای اطمینان از تناسب سایز بندی آزمایش شد. آب بالانس برای یک دوره ۲۵ ساله محاسبه و آب باقی مانده به لاگون تبخیری پمپ شد.

##### سایز بندی لاگون تبخیری

الف: سطح مطلوب با کم وزیاد کردن هزار تا هزار تای سطح حوض به دست آورده تا عمق سطح آب در تمام ماه های سال

باشد. لازم به ذکر است که با توجه به رابطه (۲) سطح تبخیر حوض محاسبه می گردد. همان طور که مشاهده می کنیم زمانی که سطح تبخیر بالایی دست پیدا می کنیم که اختلاف بین  $E$  که بیانگر تبخیر و  $P$  که بیانگر بارش است حداقل باشد در ضمن  $Q$  که همان دبی فاضلاب ورودی به سیستم می باشد معادل میانگین سالیانه فاضلاب ورودی در طی دوره ۱۰ ساله است و ۱۱۵۲۰ مترمکعب در سال است که با مراجعه به جدول ۱ آمار فاضلاب فرضی ورودی به سیستم را مشاهده خواهیم کرد. پس از انجام محاسبات سطح تبخیر با توجه به داشتن نسبت ابعاد حوض که در این جا نسبت طول به عرض ۲ به ۱ می باشد، ابعاد سطح بالایی حوض محاسبه می شود.

لازم به ذکر است که ابعاد محاسبه شده با توجه به دید فنی و شرایط کارگاهی و اجرایی در مهندسی عمران گرد می شود و ابعاد جدید و سطح تبخیر جدید که اختلاف اندکی با ابعاد و سطح تبخیر محاسبه شده دارد به عنوان ابعاد طرح انتخاب می گردد که برابر ۶۲ متر عرض و ۱۲۴ طول می باشد. در مرحله بعد جهت محاسبه عمق حوض از حداکثر فاضلاب ورودی سالانه در طی دوره ۱۰ ساله استفاده می شود و با توجه به داشتن این رقم و سطح محاسبه شده حوض در مرحله قبل عمق حوض از دو روش محاسبه می شود. روش اول: از تقسیم مستقیم حداکثر فاضلاب ورودی سالانه به سطح تبخیر محاسبه شده روش دوم: با فرض این که حجم حوض برابر حداکثر فاضلاب ورودی سالانه در طی دوره ۱۰ ساله است و با استفاده از رابطه (۳) قابل محاسبه است. در این رابطه  $A_2$  سطح کف حوض است که با توجه به داشتن نسبت شیب دیواره حوض (۲ به ۱) و ابعاد سطح حوض از رابطه (۵) محاسبه می گردد. لازم به ذکر است که  $h$  همان عمق حوض است و با جاگذاری  $A_1$  و  $A_2$  و  $V$  در فرمول محاسبه حجم هرم ناقص به صورت محاسبات آزمون و خطا به راحتی محاسبه می شود (رابطه (۶)). با توجه به این که این روش جهت محاسبه عمق حوض استفاده می شود و در این جا عمق حوض ۲/۰۵۹ متر می باشد، در گام بعدی عمق آزاد برای شرایط بحرانی به عمق محاسبه شده اضافه می گردد که ۰/۵ متر می باشد. در مرحله بعدی با توجه

به دید فنی و شرایط مهندسی و اجرایی در مهندسی، عمق به دست آمده گرد می شود که تفاوت زیادی با عمق محاسبه شده نخواهد داشت. با داشتن عمق جدید و ابعاد سطح حوض و نسبت ابعاد و شیب دیواره های حوض، ابعاد جدید برای کف حوض محاسبه می شود که برای عمق ۲/۵ متری ۵۲ متر عرض و ۱۰۴ متر طول می باشد، لذا حجم جدید لاگون با توجه به داشتن رابطه حجم هرم ناقص و ابعاد سطح و کف لاگون محاسبه می گردد که ۱۶۲۸۶/۶۶ مترمکعب می باشد.

پس از طی این مراحل عمق حوضچه فوق در طی دوره ۱۰ ساله طبق مراحل زیر ماه به ماه چک و کنترل می گردد. گام اول: با ضرب کردن تبخیر ماهانه که به صورت متر در ماه است به سطح تبخیر حوض، میزان تبخیر در حوض به دست می آید. لازم به ذکر است که سطح تبخیر حوض در اولین ماه بهره برداری برابر است با مقدار سطحی که از فاضلاب ورودی به سیستم در این ماه حاصل می شود که با داشتن ابعاد کف و شیب کناره حوض با استفاده از رابطه (۷) قابل محاسبه است. سطح تبخیر در ماه اول بهره برداری رقم ۶۰۹۶۹۶ حاصل می شود. با محاسبه سطح تبخیر و ضرب کردن آن در میزان تبخیر ماهانه، تبخیر ماهیانه حوض به صورت مترمکعب در ماه به دست می آید  $۵۸/۱۶۵ = ۰/۰۰۹۵۴ \times ۶۰۹۶۹۶$  گام دوم: با توجه به داشتن آمار بارندگی ماهانه و سطح بالای حوض، میزان بارش ورودی ماهانه به حوض محاسبه می شود که برابر است با  $۱۳۸/۳۸۴ = ۷۶۶۸ \times ۰/۰۱۸$  با داشتن فاضلاب ورودی و بارش ورودی و تبخیر خروجی و میزان نشت و نفوذ خروجی احتمالی حجم فاضلاب ماهانه موجود در لاگون با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می شود که در این جا میزان نشت صفر در نظر گرفته شده است.

$$V=(P+Q)-(E+i)=$$

$$(۱۳۸/۳۸۴ + ۷۰۰۰) - (۵۸/۱۶۵ + ۰) = ۷۰۸۰$$

با توجه به داشتن حجم فاضلاب و سطح لاگون، عمق فاضلاب موجود در لاگون محاسبه می گردد  $h = \frac{V}{A} = \frac{7080}{6515} = 1.087$  در صورتی که عمق فاضلاب موجود در لاگون کمتر از ۴۰ سانتی متر بود این عمق توسط آب تعادل

بعدى براى كنترل سطح تبخیراز عمق فاضلاب موجود در ماه قبل استفاده مى گردد و تمامی این مراحل ماه به ماه تکرار می گردد و در جدول (۴) کنترل عملکرد ۱۰ ساله نشان داده شده است

جبران خواهد شد، به این ترتیب با ضرب کردن اختلاف بین عمق موجود و حداقل عمق (۴۰ سانتی متر) در مساحت کف (گون، حجم آب اضافه شده به سیستم جهت جلوگیری از خشک شدن به صورت متر مکعب در ماه محاسبه شود. در ماه

جدول ۱- آمار فاضلاب فرضی ورودی به سیستم

متر مکعب	زمان	متر مکعب	زمان	متر مکعب	زمان
۱۱۰۰	بعد از ۸۴ ماه	۵۰۰۰	بعد از ۴۴ ماه	۷۰۰۰	از موقع شروع
۱۵۰۰	بعد از ۸۹ ماه	۳۵۰۰	بعد از ۵۰ ماه	۷۳۰۰	بعد از ۶ ماه
۷۵۰۰	بعد از ۹۴ ماه	۷۵۰۰	بعد از ۵۸ ماه	۷۰۰۰	بعد از ۱۴ ماه
۴۸۰۰	بعد از ۱۰۱ ماه	۴۰۰۰	بعد از ۶۴ ماه	۷۳۰۰	بعد از ۲۰ ماه
۵۰۰۰	بعد از ۱۰۵ ماه	۵۰۰۰	بعد از ۷۰ ماه	۶۰۰۰	بعد از ۲۶ ماه
۲۰۰۰	بعد از ۱۱۱ ماه	۳۰۰۰	بعد از ۷۴ ماه	۸۳۰۰	بعد از ۳۲ ماه
۷۰۰۰	بعد از ۱۱۵ ماه	۷۲۰۰	بعد از ۸۰ ماه	۵۵۰۰	بعد از ۴۰ ماه
۲۷۰۰	بعد از ۱۱۹ ماه				
۱۱۵۲۰	میانگین ۱۰ ساله				





جدول ۳- محاسبات و طراحی

E-P=		E*k=	K =	E=	P=	میانگین ۳ ساله
تفاضل بارندگی و تبخیر (میلی متر/سال)		میزان تبخیر در شهر اصفهان (میلی متر/سال)	ضریب اصلاح شوری	میزان تبخیر در شهر اصفهان (میلی متر/سال)	میزان بارندگی در شهر اصفهان (میلی متر/سال)	
۲۰۶۲/۰۳۱۶۶۷		۲۲۰۹/۹۶۵	۰/۹	۲۴۵۵/۵۱۶۷	۱۴۷/۹۳۳۳	از ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۳
۱۸۹۷/۱۴۱۶۶۷		۲۰۲۹/۵۷۵	۰/۹	۲۰۵۵/۰۸۳	۱۳۲/۴۳۳۳	از ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴
۱۸۴۲/۹۳۳۳۳۳		۱۹۷۵/۵	۰/۹	۲۱۹۵	۱۳۲/۵۶۶۷	از ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۵
۱۷۶۴/۵		۱۸۸۰/۱	۰/۹	۲۰۸۹	۱۱۵/۶	از ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۶
۱۶۷۶/۳۱		۱۸۰۷/۱۱	۰/۹	۲۰۰۷/۹	۱۳۰/۸	از ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۷
۱۶۴۲/۵۳۶۶۶۷		۱۷۸۴/۶۷	۰/۹	۱۹۸۲/۹۶۶	۱۴۲/۱۳۳۳	از ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۸
۱۶۶۱/۵۴۸۳۳۳		۱۷۹۲/۸۱۵	۰/۹	۱۹۹۲/۰۱۶	۱۳۱/۲۶۶۷	از ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۹
۱۷۳۳/۲۳۶۶۶۷		۱۸۵۳/۳۷	۰/۹	۲۰۵۹/۳	۱۲۰/۱۳۳۳	از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰
فرمول ها	محاسبات	واحد	فرمول ها	محاسبات	واحد	
A=Q/(E-P)			Freeboard=	۰/۵	(m)	
E-P=	۱۶۴۲/۵۳۶۶۷	(mm/yer)	Lagoon Slope=	۲ ; ۱		
Q=	۱۴۳۰۰	(m <sup>۳</sup> )	Take (Depth)=	۲/۵	(m)	
A (Evaporation area)=	۷۰۱۳/۵۴۲۰۶	(m <sup>۲</sup> )	Bottom width=	۵۲	(m)	
A=۲b*b		(m <sup>۲</sup> )	Bottom Length=	۱۰۴	(m)	
Width=	۶۱/۲۱۷۹۹۵۸	(m)	Top Area=	۷۶۸۸	(m <sup>۲</sup> )	
Length=	۱۲۲/۴۳۵۹۹۱	(m)	Bottom Area=	۵۴۰۸	(m <sup>۲</sup> )	
New(Width)Tope=	۶۲	(m)	lagoon Area=	۶۵۱۴/۶۶۶۶۷	(m <sup>۲</sup> )	
New(Length)Tope=	۱۲۴	(m)	(Lagoon Volum) =	۱۶۲۸۶/۶۶۶۶۷	(m <sup>۳</sup> )	
New (A )Tope =	۷۶۸۸	(m <sup>۲</sup> )	Maximum Liquid Depth=	۱/۷۶۸۳۷۵۵۲	(m)	
Solve: V <sup>۲</sup> =	۱۴۳۰۰	(m <sup>۳</sup> )	Minimum Liquid Depth=	۰/۴	(m)	
By changing Depth (method ۱)=	۲/۰۵۹۶۷۰۹۵	(m)	Seepage Rate in liner=	۰	(m/day)	
Equal To: V <sup>۱</sup> =	۱۴۳۰۰	(m <sup>۳</sup> )	Seepage Rate For Lagoon =	۰	(m <sup>۳</sup> )/d	
Depth(method ۲)=	۱/۸۶۰۰۴۱۶۲	(m)	Seepage Rate For Lagoon =	۰	(m <sup>۳</sup> )/mont	









## نتیجه محاسبات برنامه

پس از انجام محاسبات آزمون و خطا با توجه به حد اکثر فاضلاب ورودی در زمان شروع به کار لحاظ نمودن سایر ملزومات طراحی، حوضچه تبخیر با ابعاد  $۱۲۴ \times ۶۲$  و عمق  $۲/۵$  متر با شیب جانبی  $۱$  به  $۲$  برای شهر اصفهان با حداکثر فاضلاب ورودی  $۱۴۳۰۰$  متر مکعب در سال و میانگین ده ساله  $۱۱۵۲۰$  متر مکعب در سال بدون هیچ گونه نفوذ آب به درون خاک در نظر گرفته شد. طرح فوق پس از کنترل در دوره ده ساله با توجه به آمار بارش و تبخیر و فاضلاب ورودی به سیستم چک گردید به طوری که حد اکثر عمق فاضلاب در طول بهره برداری ده ساله  $۱/۷۶$  متر و حداقل عمق  $۴۰$  سانتی متر بود که بیانگر طراحی خوب و مناسب ابعاد حوض با توجه به مشخصات آب و هوایی منطقه و فاضلاب ورودی می باشد.

تبخیر، نفوذ و فاضلاب ورودی دخالت دارند که در این جا سطح باران گیر همواره سطح بالایی (فوقانی) حوض می باشد و سطح تبخیر در هر ماه از عملیات با توجه به عمق فاضلاب موجود در حوض محاسبه می گردد. کف حوضچه با شیب  $۱$  تا  $۲\%$  درجه بندی می شود و عمق آزاد همواره بین  $۵۰$  تا  $۶۰$  سانتی متر و حداقل عمق فاضلاب موجود در حوضچه باید  $۴۰$  سانتی متر باشد و هر گاه عمق فاضلاب به کمتر از این رقم برسد جهت جلوگیری از خشک شدن حوضچه از آب توازن که به صورت لیتر بر ساعت است و در طول ماه جبران خواهد شد استفاده می شود. بنابراین نوسانات سطح تبخیر بر اساس شیب ذخیره فعال حوض می باشد و سایز بندی اصولی و صحیح حوضچه بیانگر بیشترین کاهش سطح آب بدون خشک شدن حوضچه می باشد.

## نتیجه گیری

یکی از مزایای مهم حوضچه های تبخیری استفاده از انرژی طبیعی خورشید است که جهت راه اندازی آن ها به تامین منابع دیگر انرژی نیازی احساس نمی شود. برای کنترل عملیات این حوضچه ها به اپراتور ماهر نیاز نمی باشد این روش دفع نسبت به سایر روش های دفع پساب های مایع نیاز به مراقبت کمتری دارد. بنابراین حوضچه های تبخیری در مکان هایی کارایی دارند که میزان تبخیر در آن ها بیش از بارش سالیانه باشد، به عبارت دیگر این حوضچه ها در مناطق خشک و گرمسیر کارایی بالایی دارند و اغلب در مناطقی ساخته می شوند که سطح آب های زیرزمینی پایین باشد. جهت طراحی حوضچه های تبخیری از داده های ده ساله آماری بارش و تبخیر ماهیانه منطقه مورد نظر استفاده می شود که در محاسبات مربوط به سطح بالایی حوض از حداقل رقوم به دست آمده از تفاضل میانگین بارش و تبخیر سه ساله متوالی در طی دوره ده ساله و همچنین از میانگین سالیانه فاضلاب ورودی در طی دوره ده ساله استفاده می شود و در محاسبات مربوط به عمق لاگون از حداکثر فاضلاب ورودی سالانه در طی دوره ده ساله استفاده می شود. در محاسبات تعادل آب عوامل بارش،

## منابع

- 1- Yakwitz, Harvey (1988), Identifying, classifying and describing Hazardous wastes, UNEP industry and Environment, vol.11, No1, pp.3-9, United Nations publication France.13- Tchobamglous. Georg, 1977 solid waste, Engineering, prencipal and managment, issues by MCG raw - Hill - Inc London.
- 2- Pickett, E.M.1979, Evapotranspiration and Individual Laggons. In Proceedings of Northwest Onsite Wastewater Disposal Short Course, University of Washington, Seattle, pp. 108-118.
- 3- Standards for Designing a Stabilization Lagoon, (No date), North Dakota State Department of Health, Bismarck, 3pp.
- 4- Design Manual, 1983, MunicipAL Wastewater stabilization Ponds.EPA-625/1-83-012.
- 5- Priestly, C.H. B., and R.J. Taylor. 1972, on the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. Mon. Weather Rev., 100:81-82.

- 9- Design Manual, 1980, onsite wastewater treatment and Disposal systems.EPA 625/1-80-012.
- 10- Rugen, M. A., D.A. Lewis, and I. J. Benedict. (No date), Evaporation - A Method of Disposing of septic Tank Effluent. Edwards Underground water District, San Antonio, Texas, 83pp.
- ۶- افشار. عباس، (۱۳۶۴)، هیدرولوژی مهندسی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.
- ۷- آمار و ارقام بارندگی و تبخیر سازمان هواشناسی کشور.
- 8- Change, A.C., W.R. Olmstead, J.B. Johanson, and G. Yamashita. 1974, the Sealing Mechanism of Wastewater Ponds. JWPCF 46(7): 1715-1721.