



## مدلسازی فسفر در برکه تثبیت اختیاری تصفیه خانه فاضلاب یزد

نویسندگان: محمد حسن احرامپوش\* ابراهیم شاهسونی\*\* محمد رضا سمائی\*\*\* اصغر ابراهیمی\*\*\*  
سید وحید غلمان\*\*\*\* اکبر صالحی\*\*\*\* پروانه طالبی\*\*\*\* اسماعیل شاهسونی\*\*\*\*

\*استاد بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد  
\*\*نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد تلفن: ۰۹۱۷۱۳۰۸۱۳۴ Email: eshahsavani@yahoo.com  
\*\*\*دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران  
\*\*\*\*کارشناس شرکت آب و فاضلاب یزد  
\*\*\*\*کارشناس مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد  
\*\*\*\*دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی شیراز

### چکیده

**سابقه و اهداف:** برکه‌های تثبیت فاضلاب ساده ترین فرآیندی است که انسان توسط آن سعی در تثبیت مواد قابل تجزیه بیولوژیکی دارد. امروزه جهت مدیریت مسائل زیست محیطی غالباً از ابزارهای کامپیوتری به‌ویژه مدلسازی ریاضی بهره گرفته می‌شود. پویایی سیستم روش تحلیل مسائلی می‌باشد که در آن‌ها زمان یک عامل مهم است و دربرگیرنده‌ی بررسی چگونگی واکنش و دفاع یک سیستم در برابر شوک‌هایی است که از بیرون بر آن اعمال می‌شود.

**روش بررسی:** در این مطالعه پس از نمونه‌برداری و انجام آزمایشها، یک مدل فرآیندی ساخته شد. نخست طرح کلی انبارش ارتوفسفات، مشخصات و پارامترهای آن تعیین و روی صفحه ونسیم ایجاد شد. سپس روابط ریاضی هر فرایند تعیین و وارد کامپیوتر شد. نهایتاً مدل با استفاده از داده‌های برکه اختیاری تصفیه خانه یزد، کالیبره و تایید شد.

**یافته‌ها:** پس از آنالیز حساسیت مدل مشخص شد که نرخ رشد درجه یک جلبک، نرخ ته نشینی فسفر و افت ناشی از اثر ترکیبی تنفس و دفع جلبکی جزء عوامل مهم در مدل می‌باشند. افت ناشی از زئوپلانکتون‌های گیاهخوار، نرخ هیدرولیز کربن معدنی، نسبت فسفر به کلروفیل، جزء عوامل کم اهمیت در مدل می‌باشند.

**نتیجه گیری:** مدل پویایی سیستم برای برکه اختیاری نیاز به داده‌های کمتری در مقایسه با سایر مدل‌های موجود (مثلاً: برنامه شبیه سازی آنالیز آب) دارد. بنابراین مدل ارزانی بوده و می‌توان پاسخهای خوبی از آن به دست آورد. در مدل این تحقیق، نرخ ته نشینی فسفر و نرخ رشد جلبکی عامل مهمی برای حذف فسفر می‌باشد، لذا با داشتن زمان ماند مناسب در برکه اختیاری می‌توان مدیریت بهتری را اعمال نمود. نسبت فسفر به جلبک (کلروفیل) در مدل اهمیت کمی دارد. لذا با داشتن رشد جلبکی مناسب سیستم می‌تواند نوسانات ورودی فسفر را تحمل کند. نسبت کربن به فسفر و نرخ تنفس زئوپلانکتون‌های گوشتخوار در مدل بی‌تاثیر هستند، لذا مقدار کربن آلی محلول و ذره‌ای و مرگ و میر زئوپلانکتون‌های گوشتخوار محدودیتی در تعادل سیستم ایجاد نمی‌کنند. با داشتن داده‌های بیشتر و در مدت زمان طولانی‌تر قابلیت مدل افزایش می‌یابد و مدل‌های اکولوژیکی پویایی سیستم، اطلاعات مفیدی جهت مدیریت برکه به دست می‌دهد، لذا بهتر است از این مدل جهت امور مدیریتی و ارزیابی کلی برکه اختیاری استفاده شود و برای ارزیابی دقیقتر بهتر است از مدل‌های دو بعدی و سه بعدی به جای مدل صفر بعدی استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** فسفر واکنشگر محلول، پویایی سیستم، مدلسازی، برکه تثبیت اختیاری، شهر یزد

## طوع بهداشت

فصلنامه علمی پژوهشی

دانشکده بهداشت یزد

سال دهم

شماره: اول

بهار ۱۳۹۰

شماره مسلسل: ۳۲

تاریخ وصول: ۱۳۸۹/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۴/۱۸



## مقدمه

محلول شرایط بی هوازی غالب است. لایه حد واسط نیز در بین لایه هوازی و بی هوازی شناسایی شده است. عمق این برکه‌ها معمولاً بین ۲/۵-۱/۵ متر و زمان ماند آنها بین ۷۰-۳۰ روز می‌باشد (۳-۴).

تصفیه فاضلاب در برکه‌های تثبیت به طور اساسی در اثر کمپلکس جلبکها و باکتری‌ها حاصل می‌شود. در حالی که اکسیداسیون مواد آلی به وسیله باکتریها صورت می‌گیرد و عمل اکسیداسیون ناشی از اکسیژن محلولی است که توسط جلبکها در اختیار باکتریها قرار داده می‌شود (۵).

در تصفیه خانه فاضلاب یزد از روش برکه تثبیت با توجه به شرایط آب و هوای گرم برای تصفیه فاضلاب شهری استفاده شده است. این تصفیه خانه شامل واحدهای آشغالگیر، برکه بی هوازی و دو برکه اختیاری ثانویه (با طول ۴۰۰ و عرض ۱۰۰ و عمق حدود ۲-۲/۵ متر) است. البته بدلیل اینکه برکه اختیاری اولی کارایی واقعی برای تصفیه را دارد، نمونه گیری، آزمایشات و مدل سازی بر روی این برکه انجام شده است.

تغذیه گرایی اشاره به رشد بیش از حد جلبک و گیاهان آبیزی دارد. این فرایند ناشی از دردسترس بودن مقدار بسیار زیاد مواد مغذی از جمله ازت و فسفر است. جلبکها بشدت قابل رویت هستند و می‌توانند در کاربرد و کیفیت زیبایی شناختی یک پیکره‌ی آبی بشدت دخالت کنند. همچنین به دنبال رشد جلبکی زیاد ممکن است مشکلات بو و مزه در آب آشامیدنی ایجاد شود (۶).

از آنجا که در مباحث مهندسی محیط زیست ترکیبات نیتروژن و فسفر به عنوان عوامل اصلی تغذیه گرایی (یوتریفیکاسیون)، در

برکه‌های تثبیت فاضلاب ساده‌ترین فرآیندی است که انسان توسط آن سعی در تثبیت مواد قابل تجزیه بیولوژیکی دارد که در اینجا انسان شرایط مطلوب را برای فرآیندهای طبیعی پالایش ایجاد می‌کند و نیروهای طبیعت (نور خورشید، باد، درجه حرارت، و گیاهان خودرو و حیات جانوری) اجازه دارند تا بر روی فاضلاب عمل کنند (۱). برکه‌های تثبیت ابتدایی ترین فرآیند تصفیه بیولوژیکی را به کار می‌گیرند. این برکه‌ها به منظور ایجاد پساب خروجی مناسب جهت تخلیه در آبهای پذیرنده و همچنین بازیافت آب با کمترین هزینه و نیروی کار ماهر توسعه داده شده اند. آنها کاملترین نوع تصفیه را ارائه نخواهند داد ولی یک سری از این برکه‌ها می‌تواند حذف بسیار زیادی از موجودات بیماری زا را نسبت به سایر فرآیندهای متداول تصفیه فاضلاب تضمین کند. نیاز به مهارت بهره برداری، اندک است، هر چند که نیاز به ارائه برخی از تعلیمات وجود دارد ولی نوعاً پیچیده نیست (۱).

از مزایای برکه‌ها می‌توان به ارزان بودن، راندمان بالا، قابلیت تحمل شوک مواد آلی و سمی و بالا بودن راندمان حذف فلزات سنگین اشاره کرد. هر چند معایبی همانند تولید و پرورش حشرات، بالا بودن غلظت جامدات معلق، نیاز به زمین بالا، اتلاف زیاد آب و احتمال آلودگی آبهای زیر زمینی می‌تواند از معایب آن باشد (۲).

برکه‌های اختیاری متداول ترین نوع برکه‌ها هستند که در لایه های فوقانی آنها به دلیل وجود اکسیژن محلول شرایط هوازی وجود دارد و در لایه های تحتانی به دلیل عدم وجود اکسیژن



۱- انبارش‌ها (Stocks) یا متغیرهای حالت (State variable)

۲- جریان‌ها (Flows) ۳- پیکان‌ها یا اتصالات ۴- مبدل‌ها یا پارامترها (۱۶، ۷). متغیر حالت، وضعیت اکوسیستم را توصیف می‌کند (۶) و به مفهومی دلالت دارد که بتوان در آن چیزی ذخیره نمود. جریان، به عملیات جاری گفته می‌شود که محتوای مخزن سیستم را، در طول یک دوره‌ی زمانی مشخص، تعیین می‌کند. یک پیکان نشان‌دهنده‌ی اتصال است که دو عنصر را در مدل به هم وصل می‌کند. مبدل، متغیری است که آهنگ یا نرخ کارکرد یک فرایند را مشخص می‌کند. مبدل می‌تواند نقش‌های گوناگونی در سیستم داشته باشد. مهمترین نقش مبدل، تعیین آهنگ، یا سرعت یک فرایند است. سرعت تغییر محتوای هر انبارش، بر پایه‌ی این آهنگ است (۱۷). مبدل می‌تواند ثابتی برای یک اکوسیستم خاص یا بخشی از اکوسیستم باشد (۶).

در روش پویایی سیستم (System Dynamics) از فرضیه‌ی فرایندهای بازخورد و پیش‌خورد استفاده می‌شود. یک سیستم بازخورد از رفتار گذشته خود تاثیر می‌پذیرد که ناشی از حلقه‌هایی است که در این فرایند ایجاد می‌شود. هدف معمول پژوهش با روش پویایی سیستم، درک چگونگی و علت پویایی مسائل و جستجوی سیاست‌های مدیریتی برای بهبود این وضعیت می‌باشد (۱۲).

در مطالعات مختلفی مدلسازی برکه تثبیت انجام شده است (۲۷-۱۸). همچنین مدلسازی بر اساس روش پویایی سیستم و مواد مغذی در مطالعات متعددی انجام شده است (۲۵-۳۶). هدف از این مقاله، ارائه یک مدل مناسب با روش پویایی سیستم

مخازن آب و مواد مغذی ضروری برای رشد جلبکها در برکه تثبیت بوده و وجود آنها در پساب تصفیه خانه های فاضلاب به خاطر مشکل تغذیه گرایی و مشکلات بهداشتی همانند تولید نیتروزامین (که عاملی سرطازنزا در آب آشامیدنی است)، جهت تخلیه به آبهای جاری، چاههای جاذب و استفاده مجدد دارای محدودیت خاصی است.

استفاده‌ی گسترده از مدل‌های اکولوژیکی در مدیریت محیط زیست از حدود سال ۱۹۷۰ آغاز شد (۶). پژوهش‌های مختلفی در این مورد انجام شده است (۷، ۸، ۹). در پژوهش دیگری که در چین انجام شده نیز از پویایی سیستم، مدل ErhaiSD، برای برنامه‌ریزی و مقابله با پدیده‌ی تغذیه گرایی استفاده شده است (۱۰). در برخی از مطالعات ترکیبات نیتروژن‌دار مدلسازی شده‌اند (۱۱).

مدل‌های ریاضی را غالباً به دو دسته‌ی مدل‌های ایستا (Static) و مدل‌های پویا (Dynamics) تقسیم می‌کنند (۱۲). مدل‌های ایستا شرایط تعادل را نشان می‌دهند، در صورتی که مدل‌های پویا تغییرات سیستم طی زمان را نشان می‌دهند (۱۳). پویایی سیستم در دهه‌ی ۱۹۶۰ توسط جی فورستر (Jay W. forrester) و همکاران دانشگاهی‌اش در دانشکده‌ی مدیریت پژوهشگاه صنعتی ماساچوست (MIT) پایه‌گذاری شد (۱۲). وی نخستین کار خود را با عنوان پویایی صنعتی فورستر توصیف کرد (۱۵)،

در پویایی سیستم از چهار مولفه جهت ساخت مدل و نشان دادن روابط علت و معلولی استفاده می‌شود که عبارتند از:



اختیاری، نمونه ای مرکب از ۹ نقطه (سه نقطه در قسمت ابتدایی برکه، سه نقطه در قسمت میانی برکه و سه نقطه در قسمت انتهایی برکه یعنی جمعا ۹ نقطه از نه نقطه در سطح و نه نقطه در عمق نمونه برداری به عمل آمد. در نهایت یک نمونه مرکب از ورودی، یک نمونه مرکب از خروجی و یک نمونه مرکب از لایه سطحی و یک لایه عمقی داخل مخزن به دست آمد. تا اندازه ممکن سعی شد که نقاط نمونه برداری ثابت باشد تا روند تغییرات پارامترها بررسی شود. از نتایج آزمایش لایه های سطحی و عمقی میانگین گرفته شد تا به شرایط اختلاط کامل نزدیک شویم. غلظت ارتوفسفات (فسفر واکشگر محلول) با روش استاندارد در زمانهای مختلف (هفته ای یک بار در طول سه ماه) اندازه گیری شد.

جهت مدلسازی، پس از مشخص کردن ارتباط بین ارتوفسفات و هر یک از متغیرهای حالت، تمام پارامترها و متغیرهای تاثیرگذار بر آن شناسایی شدند و روی صفحه ی ونسیم، شمای گرافیکی آن رسم گردید. سپس جهت این ارتباطها مشخص شد. به عبارت دیگر متغیر ارتوفسفات در قالب چهار مولفه ی اصلی پویایی سیستم تعریف شد و روی صفحه ی طراحی ونسیم ایجاد شد. در شکل ۲ نمای گرافیکی مدل SD ارتوفسفات (SRP) نشان داده شده است.

در مرحله ی بعد، روابط ریاضی مربوط به هر ارتباط مشخص شد. برای این منظور نخست موازنه ی جرم برای هر کدام از متغیرهای حالت نوشته شد. در حالت کلی میزان تجمع هر ماده ی شیمیایی در برکه اختیاری را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\text{بازتعلیق} + \text{ته نشینی} - \text{واکنش} \pm \text{خروجی} - \text{ورودی} = \text{تجمع}$$

جهت مدلسازی فسفر بوده است. در این پژوهش از زبان برنامه نویسی ونسیم (VenSim)، که یکی از ابزارهای پویایی سیستم می باشد، استفاده شده است.

## روش بررسی

روش تحقیق تحلیلی با نتیجه کاربردی است. در پژوهش حاضر ارتوفسفات (فسفر واکشگر محلول) با رویکرد پویایی سیستم مدلسازی شده است. در این مدل، برکه به صورت یک راکتور اختلاط کامل در نظر گرفته شده است که مناسب تر از جریان قالبی (پیستونی) است. (۲۶، ۲۱). نمونه برداری به صورت لحظه ای بود، به این صورت که نمونه از نقاط مختلف (سه نقطه از ورودی برکه اختیاری، سه نقطه از خروجی برکه اختیاری و برای داخل مخزن ۹ نقطه از لایه سطحی و ۹ نقطه از لایه عمقی) برداشت و در هر بار نمونه برداری آزمایشات لازم بر روی آنها انجام شد جهت نمونه برداری از سطح برکه اختیاری از یک قایق استفاده گردیده و از ظرف نمونه برداری خاصی جهت نمونه برداری از عمق و سطح برکه استفاده شد. نمونه برداری در طی دوره سه ماهه در ماههای اردیبهشت، خرداد و تیر ماه ۸۹ به صورت هفتگی انجام گرفت. در هر بار نمونه برداری به این ترتیب بود: نمونه برداری از محلهای ۱- ورودی برکه اختیاری (نمونه مرکب از سه نقطه ورودی به برکه اختیاری) ۲- خروجی برکه اختیاری (نمونه مرکب از سه نقطه خروجی از برکه اختیاری) ۳- لایه سطحی یعنی عمق ۱۵ سانتیمتری از سطح برکه اختیاری، نمونه ای مرکب از ۹ نقطه (سه نقطه در قسمت ابتدایی برکه، سه نقطه در قسمت میانی برکه و سه نقطه در قسمت انتهایی برکه) ۴- لایه عمقی یعنی عمق ۱ متری از سطح برکه



فسفر واکنشگر محلول (SRP)، از هیدرولیز کربن آلی محلول و تنفس زنجیره‌ی غذایی حاصل می‌شود و با جذب گیاهی کاهش می‌یابد (۳۴):

$$V \frac{d p_s}{dt} = a_{pc} k_h(T) V C_d + a_{pa} k_{ra}(T) V a + a_{pc} k_{rh}(T) V z_h + a_{pc} k_{rc}(T) V Z_c - a_{pa} k(T, n_t, p_s, I) V a$$

و در مرحله‌ی بعد برخی از داده‌ها، مانند دبی ورودی و خروجی، شدت نور، مقادیر اندازه‌گیری شده فسفر واکنشگر محلول به صورت جدول به مدل داده شد و سری‌های زمانی مربوطه ساخته شد. در این جدول‌ها برای مثال رابطه‌ی بین دبی فاضلاب ورودی از برکه بیهواری به برکه اختیاری و زمان به مدل داده شد که در نهایت مدل آن را به صورت نمودار درمی‌آورد و در جاهایی که به آن نیاز دارد از آن استفاده می‌کند. یعنی به جای در نظر گرفتن دبی ثابت، دبی به صورت متغیر زمانی به مدل داده شد.

این کار برای برخی دیگر از متغیرها مانند میزان تابش و مقادیر اندازه‌گیری شده متغیرها نیز انجام شد مدل ساخته شده در این مطالعه، برکه اختیاری را به عنوان یک راکتور اختلاط کامل در نظر می‌گیرد. سه گام مهم در فرایند مدل‌سازی شامل تایید (verification)، کالیبراسیون و اعتبارسنجی (validation) می‌شود (۱).

ابتدا مدل توسط داده‌های اندازه‌گیری شده برکه اختیاری تایید اولیه شد. سپس برای برکه اختیاری یزد در مدت ۸۳ روز کالیبره شد. در نهایت آنالیز حساسیت انجام شد. در جدول ۱ پارامترها مدل آورده شده است که شامل نام متغیر، نشانه و یکا می‌باشد.

ورودی نشان دهنده‌ی میزان آلاینده‌ی مورد نظر (ارتوفسفات) در جریان ورودی فاضلاب از برکه بی هواری به برکه اختیاری است. خروجی نشان دهنده‌ی میزان آلاینده در جریان خروجی از برکه اختیاری می‌باشد. روابط زیر برای بخش واکنش استفاده شده است.

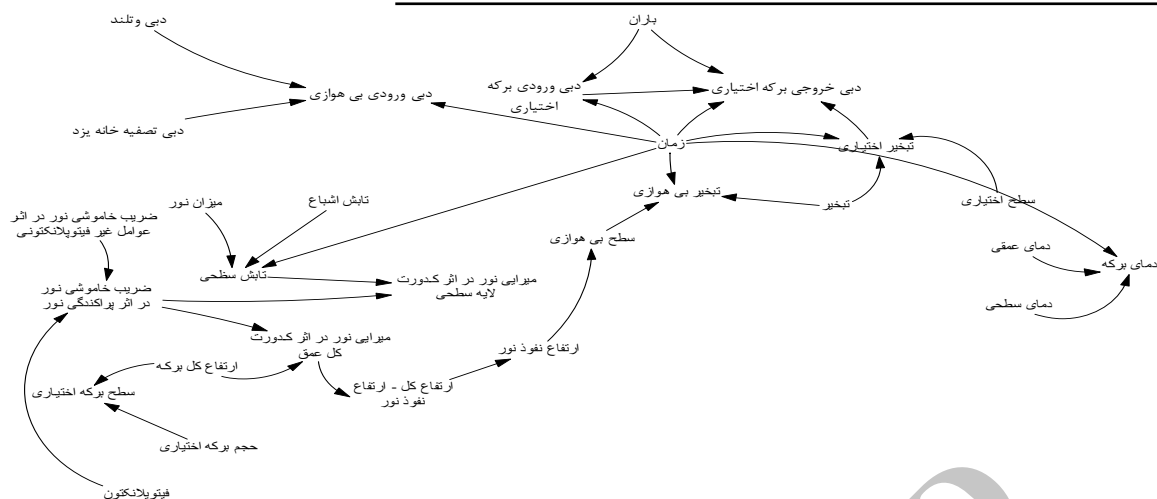
اثر دما بر نرخ‌های مختلف با رابطه‌ی وانتروف-آرنیوس مشخص شد (۳۵، ۳۴، ۱۶، ۷). شکل ۱ نمای گرافیکی ارتباط دبی، دما، نور و تبخیر در مدل رانشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود دبی ورودی به تصفیه‌خانه دو مسیر مختلف را طی می‌کند. یکی ورودی به وتلند که مقدار آن ثابت و ۱۵ لیتر بر ثانیه است و مسیر دوم ورودی به برکه بی هواری است. در مسیر دوم جریان فاضلاب پس از برکه بی هواری وارد برکه اختیاری می‌شود. در برکه اختیاری عامل تبخیر و بارش که ممکن است بر حجم کلی برکه اختیاری موثر باشند در نظر گرفته شده است که اطلاعات بارش و تبخیر از سازمان هواشناسی یزد اخذ شده است.

در شکل ۲ نمای گرافیکی انبارش فسفر واکنشگر محلول و عوامل موثر بر کاهش و افزایش فسفر نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود عواملی مانند تعلیق مجدد فسفر و میزان فسفر ورودی باعث افزایش فسفر واکنشگر محلول می‌شوند و عواملی همانند میزان فسفر خروجی و ته نشینی فسفر در اثر جذب بر جلبک معلق و ته نشینی جلبک باعث کاهش فسفر واکنشگر محلول می‌شوند.

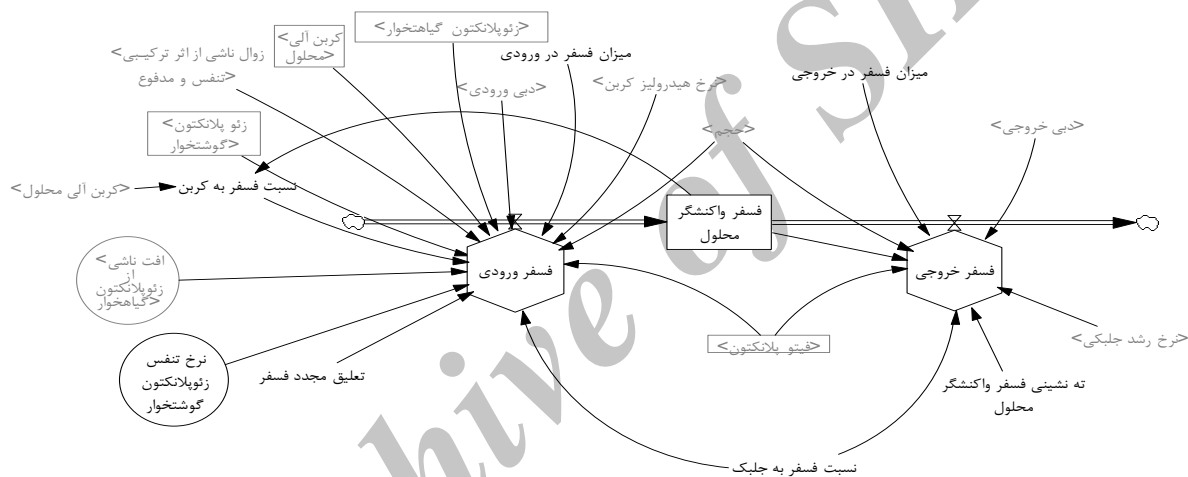


مثلا متغیر جلبک با نشانه a و یکای (واحد)  $mgChla m^{-3}$  (میلی گرم کلروفیل a در هر متر مکعب) مشخص شده است.  
**۱- جدول پارامترها**

یکای	نشانه	نام متغیر
$mgchla/m^3$	a	جلبک
$mgPgC^{-1}$	$a_{pc}$	نسبت فسفر به کربن
$mgPchla$	$a_{pa}$	نسبت فسفر به کلروفیل
$Lyd^{-1}$	I	تابش خورشیدی
$m^3$	v	حجم
$d^{-1}$	$k_{ra}$	زوال ترکیبی تنفس و مدفوع
$mgN m^{-3}$	$k_{am}$	ثابت نیم اشباع برای تقدم آمونیاک
$d^{-1}$	$Kd^{-1}$	نرخ افت
$mgN m^{-3}$	$n_a$	ازت آمونیاکی
$mgN m^{-3}$	$n_i$	ازت نیتراتی
$mgP m^{-3}$	SRP	فسفر واکشگر محلول
d	Time	زمان
$d^{-1}$	Kh	نرخ هیدرولیز کربن
$d^{-1}$	Krh	افت ناشی از زئوپلانکتون های گیاهخوار
$mgCm^{-3}$	$Z_c$	زئوپلانکتون گوشتخوار
$mgCm^{-3}$	Zh	زئوپلانکتون گیاهخوار
$mg P m^{-3}$	$P_s$	فسفر واکشگر محلول
$gCm^{-3}$	Cd	کربن آلی غیرزندهی محلول



شکل ۱- نمای گرافیکی ارتباط دبی، دما، نور و تبخیر در مدل



شکل ۲- نمای گرافیکی انبارش فسفر و اکشنر محلول

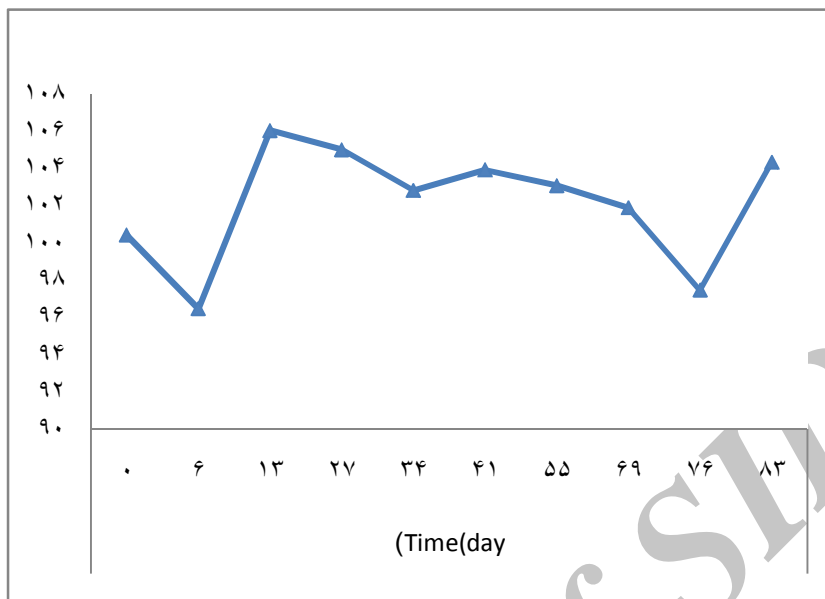
یافته ها

عمل کالیبراسیون (با تغییر منطقی ضرایب کالیبراسیون در محدوده های قابل قبول علمی) با داده های مدل ساخته شده با خطای قابل قبول تطبیق داده شد. در جدول ۲ هم پس از کالیبراسیون، مقادیر ضرایب، نرخ‌ها و پارامترهای کالیبراسیون در مدل برکه اختیاری آمده است. برای آنالیز حساسیت مدل هم لازم است پس از کالیبراسیون یکی از ضرایب را کم و زیاد کنیم تا اثر آن را برپیش بینی مدل مشاهده کنیم. اگر این

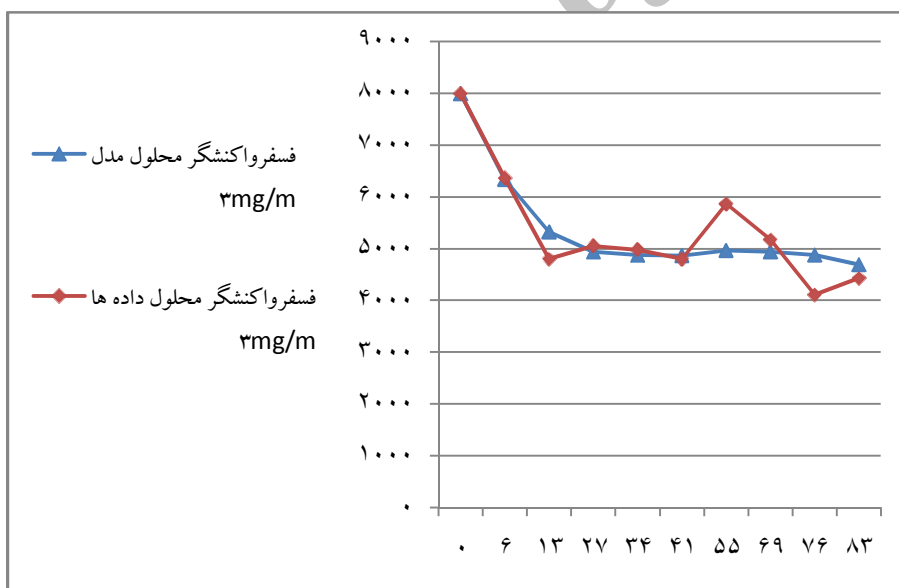
شکل ۳ میزان دبی جریان ورودی به تصفیه خانه بر حسب لیتر بر ثانیه در روزهای مختلف دوره مدلسازی را نشان می دهد. این مقادیر از دستگاه ثبت الکترونیکی ابتدای تصفیه خانه که دبی را در ساعاتی مختلف هر روز نشان می دهد استخراج شده است. در شکل ۴ مقایسه میزان اندازه گیری فسفر و اکشنر محلول (ارتوفسفات) و پیش بینی مدل آورده شده است. به عبارتی دیگر داده های اندازه گیری شده از طریق



تغییرات خیلی زیاد بود آن پارامترعامل خیلی مهم است و اگر تغییرات ناچیز باشد عامل کم اثر یا بی اثر است.



شکل ۳: میزان دبی جریان ورودی به تصفیه خانه بر حسب لیتر بر ثانیه در روزهای مختلف دوره مدلسازی



شکل ۴: مقایسه‌ی نتایج مدلسازی شده فسفر واکشگر محلول با داده‌های اندازه‌گیری شده بر حسب میلیگرم بر متر مکعب در ۸۳ روز





## جدول ۲. مقادیر ضرایب، نرخ‌ها و پارامترهای کالیبراسیون در مدل برکه اختیاری

واحد	مقدار	نشانه	پارامتر
$m^3$	۸۰۰۰۰	v	حجم
$d^{-1}$	.۳۵	Kg	نرخ رشد درجه یک جلبک
$d^{-1}$	—	Kh	نرخ هیدرولیز
$d^{-1}$	.۹۷	Kh,20	نرخ هیدرولیز در دمای ۲۰ درجه
—	۱/۰۶	Kh,Teta	ضریب تصحیح دمای Kh
$d^{-1}$	.۰۷۲	Krc	افت ناشی از تنفس
$d^{-1}$	۱/۸	Krh,20	افت بخاطر زئوپلانکتون گیاهخوار در دمای ۲۰ درجه
—	۱/۰۸	Krh,Teta	ضریب تصحیح دمای Krh
$mgPmgChLa^{-1}$	.۱۵	Apa	نسبت فسفر به کلروفیل
—	.۰۸-۰.۲۲	Apc	نسبت فسفر به کربن
$d^{-1}$	.۰۵-۰.۰۹	Kra	زوال ناشی از اثر ترکیبی تنفس و مدفوع

## بحث و نتیجه گیری

در تحلیل حساسیت متغیرهای فسفر مدل که با نرم افزار ونسیم صورت گرفت، با کم و زیاد کردن پارامترهای موثر بر مدل و بررسی میزان تغییر ایجاد شده به حساسیت مدل به هر کدام از پارامترها پی برده شد. لذا نتایج زیر حاصل شده است:

یافته های تحلیل حساسیت مدل YWSP ( Yazd Wastewater Stabilization Ponds ) حاکی از آن است که در این مدل، kg (نرخ رشد جلبک)، نرخ ته نشینی فسفر (SRP Settling) و Kra (افت ناشی از اثر ترکیبی تنفس و دفع جلبکی)، Kh (نرخ هیدرولیز کربن محلول)، جزء متغیرهای تاثیر گذار در مدل می باشند. پس مشاهده می شود

امروزه مدل‌های توانمند در زمینه مسائل زیست محیطی باید از ویژگی‌های خاصی برخوردار باشند تا در حل مناقشات بین رشته‌ها، گروه‌ها و سازمان‌های موثر بر کیفیت محیط زیست نقش مهمی را ایفا نمایند. یک مدل خوب باید دارای توانمندی، سازگاری و قابلیت دسترسی باشد (۷). توانمندی‌ها شامل قابلیت اجرایی مدل، بهره‌گیری از علوم جدید و توان رقابتی آن است. سازگاری، معرف میزان سازگاری مدل با دنیای بیرون است. قابلیت دسترسی مدل نیز شامل سه قابلیت شبکه‌ای شدن، کاربرد دوست بودن و هزینه‌ی پایین است.



Krh (افت ناشی از زئوپلانکتون‌های گیاهخوار)، Apa (نسبت فسفر به کلروفیل)، جزء عوامل کم اهمیت در مدل می‌باشند. پس از تحلیل حساسیت، مشخص شد که افت ناشی از زئوپلانکتون‌های گیاهخوار و نسبت فسفر به کلروفیل جزء عوامل کم اهمیت مدل می‌باشد بنابراین می‌توان اینگونه تفسیر کرد که در این مدل زئوپلانکتون‌های گیاهخوار که از جلبکها تغذیه می‌کنند اهمیت کمتری نسبت به جلبکها دارند و کم و زیاد شدن آنها چندان تعادل مدل را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. همچنین نسبت فسفر به کلروفیل اهمیت کمی دارد که می‌تواند حاکی از این باشد که مدل کمتر تحت تاثیر این نسبت قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که کلروفیل نشان دهنده فعالیت فتوسنتز جلبکهاست و می‌توان نتیجه گرفت که مدل کمتر تحت تاثیر نوسان فسفر ورودی به سیستم قرار می‌گیرد.

این مورد اخیر می‌تواند موید این مطلب باشد که مقدار فسفر در برکه به اندازه کافی وجود دارد و عوامل محدود کننده رشد جلبکی عوامل دیگری مانند حداکثر نرخ رشد می‌باشد.

Krc (نرخ تنفس زئوپلانکتون‌های گوشتخوار) و Apc (نسبت فسفر به کربن)، kam (ثابت نیم اشباع برای تقدم آمونیاک) و Fam (بخشی از نیتروژن غیر آلی که به وسیله جذب جلبکی از برکه جدا می‌شود) جزء عوامل کم اهمیت در مدل هستند. بنابراین کمبود زئوپلانکتون‌های گوشتخوار (که از زئوپلانکتون‌های گیاهخوار تغذیه می‌کنند) در اثر تنفس زئوپلانکتون‌های گوشتخوار در مدل اهمیت زیادی ندارد و سیستم از این لحاظ محدودیت ندارد. کم و زیاد شدن نسبت فسفر به کربن هم تعادل مدل را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. ثابت

برای اینکه فسفر به خوبی مدیریت و کنترل شود باید رشد جلبکی در حد مطلوبی قرار گیرد (۵). میزان بار وارد شده نباید از حد مشخصی بیشتر شود ولی در این برکه اختیاری چون بار سطحی ورودی به برکه اختیاری در حدود  $540 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{d}$  است که در مقایسه با محدوده طراحیها ( $100-400 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{d}$ ) بالاست (۵). بنابراین با ایجاد مدوله‌های دیگر و هدایت جریان به این مدوله‌ها می‌توان بار سطحی ورودی به برکه‌ها را کاهش داد تا با داشتن رشد جلبکی بیشتر بازدهی برکه افزایش یابد (۱۶، ۲۴، ۲۵). همچنین به دلیل اینکه نرخ ته نشینی فسفر هم عامل مهمی است باید در طراحی و بهره‌برداری دو عامل مهم زمان ماند و جلوگیری از باز تعلیق فسفر از طریق طراحی مناسب ابعاد و به ویژه عمق برکه مدنظر قرار گیرد. در این مورد تخلیه به موقع و سریعتر لجن ته نشین شده نیز توصیه می‌گردد (۳۷). افت ناشی از اثر ترکیبی تنفس و دفع جلبکی به دلیل اهمیت جمعیت جلبکی مهم است. نرخ هیدرولیز کربن محلول هم به دلیل بالا رفتن سرعت تجزیه مواد آلی در همزیستی جلبک و باکتری مهم است. لذا مواد آلی باید هم زمان ماند لازم و هم اکسیژن کافی جهت هیدرولیز شدن در اختیار داشته باشند. البته لازم به ذکر است در برکه‌های تثبیت اکسیژن محلول از طریق فتوسنتز جلبکی در اختیار باکتریها قرار می‌گیرد. هرچند اکسیژن محلول از طریق اختلاط ناشی از نیروی باد هم می‌تواند تولید شود در نتیجه جلبکها نقش بسیار مهمی در تصفیه فاضلاب به روش برکه تثبیت ایفا می‌کنند لذا در طراحی و بهره‌برداری باید عمده تلاشها بر روی رشد مناسب جلبکها تمرکز یابد تا حذف عوامل بیولوژیک و شیمیایی به خوبی انجام شود.



۲- در برکه اختیاری تصفیه خانه یزد نرخ رشد جلبکی و افت ناشی از اثر ترکیبی تنفس و دفع جلبکی بر روی متغیر فسفر تاثیر زیادی دارد، لذا برای حذف موثر فسفر باید در برکه شرایطی فراهم شود تا جلبکها رشد مناسبی داشته باشند که این کار می تواند با کاهش بار ورودی از طریق ورود فاضلاب از طریق برکه های کوچکتر موازی صورت گیرد.

۳- در این مدل نرخ ته نشینی فسفر (SRP Settling) عامل مهمی برای حذف فسفر می باشد لذا با داشتن زمان ماند مناسب در برکه اختیاری می توان مدیریت بهتری را اعمال نمود.

۴- در مدل نسبت فسفر به جلبک (کلروفیل) در مدل اهمیت کمی دارد لذا با داشتن رشد جلبکی مناسب سیستم می تواند نوسانات ورودی فسفر را تحمل کند.

۵- با داشتن داده های بیشتر و در مدت زمان طولانیتر قابلیت مدل افزایش می یابد.

۶- مدل های اکولوژیکی پویایی سیستم، اطلاعات مفیدی جهت مدیریت برکه به دست می دهد، اما برای ارزیابی دقیق تر بهتر است از مدل های دو بعدی و سه بعدی استفاده شود.

۷- مطابق شکل ۴ مشاهده می شود که نتایج بدست آمده از مدل سازی فسفر در مدل پویایی سیستم انطباق خوبی با مقادیر اندازه گیری شده ی فسفر دارد.

نیم اشباع برای تقدم آمونیاک و بخشی از نیتروژن غیر آلی که به وسیله جذب جلبکی از برکه جدا می شود جزء عوامل کم اهمیت در مدل فسفر هستند و نوسان آنها در مقادیر پیش بینی شده فسفر توسط مدل تاثیری ندارد. همچنین دمای فاضلاب برکه عامل بسیار مهمی است. شدت تابش نور خورشید، عاملی با تاثیرگذاری کم است. پس در برکه باید دمای بهینه وجود داشته باشد تا سیستم به خوبی عمل کند. شدت تابش نور خورشید اثر کمتری در مقایسه با دمای فاضلاب برکه دارد. درصد خطای مربوط به پیش بینی مدل و داده های اندازه گیری در حد قابل قبولی است به طوری که این درصد در مورد فسفر ۱۰ درصد است.

مدل های پویایی سیستم امکان ارزیابی کلی وضعیت کیفی برکه اختیاری را میسر می سازند، بنابراین سرعت نتیجه گیری و انعطاف پذیری بسیار زیاد مدل را می توان از ویژگی های اصلی مدل های پویایی سیستم دانست. در صورت نیاز، جهت استفاده از مدل در موقعیت های دیگر، افزودن پیچیدگی های بیشتر به مدل به راحتی قابل انجام است. همچنین در صورت در اختیار نداشتن برخی از مقادیر می توان آن ها را از مدل حذف کرد. به طور کلی پژوهش حاضر دربرگیرنده ی نتایج زیر بوده است:

۱- مدل پویایی سیستم برای برکه اختیاری نیاز به داده های کمتری در مقایسه با سایر مدل های موجود دارد. بنابراین مدل ارزانی بوده و می توان پاسخهای خوبی از آن بدست آورد.

## References

- 1- Naddafi K, Nabizade R. Stabilization ponds: Design and performance principles. 1<sup>st</sup> ed. Tehran: Nass Press. 1996:1-10 [Persian].



- 2- Miranzade MB. Stabilization ponds: theory and design. Tehran: Morsal Press.2004:5-7 [Persian].
- 3- Benefield L D. Biological Process design for wastewater treatment. Englewood cliffs: Prentie-Hall. 1980:15-20.
- 4- Tchobanoglaus G. Wastewater Engineering :Treatment,Disposal and Reuse. New York:Mc Graw-Hill. 1991:6-20.
- 5-Beran B ,Kargi F. A dynamic mathematical model for wastewater stabilization Ponds . Ecological modeling Journal 2005;181:39-57.
- 6- Jorgensen S E, Bendoricchio G. Fundamentals of Ecological Modelling, 3<sup>rd</sup> ed, Elsevier Science. 2001:201-206.
- 7- Samaei M, Afshar A, Ahmadi borgani M A, et al. Application of System Dynamics approach for modeling of eutrophication in constructed lakes. 12<sup>th</sup> ed conference of environmental health,Tehran.2009;200-210 [Persian].
- 8- Hense I , Hans B. Modelling cyanobacteria in shallow coastal seas. Ecological Modelling 2010; 221: 238–244.
- 9- Salacinska K G, Serafy Y El, Los F J, et al. Sensitivity analysis of the two dimensional application of the Generic Ecological Model (GEM) to algal bloom prediction in the North Sea, Ecological Modelling . 2010; 221,178–190.
- 10- Guo H C , Liu L, Huang G H, et al. A system dynamics approach for regional environmental planning and management: A study for the Lake Erhai Basin. Journal of Environmental Management, 2001;61: 93–111.
- 11- Zincke, Diansy .Effects of nitrogen and phosphorus enrichment on phytoplankton communities of lakes Atawapaskat, Michigan. Journal of Atawapaskat Research 2004; 1-6.
- 12- Ford Andrew. Modelling the environment (An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems), New York :Island Press publishing 1999:115-122.
- 13- Salomonsen J, Mogens F. Dynamic water quality modeling from Schratck.New York: Aquasim publishing. 2001:139-156.
- 14-Tutorial and technical documentation of Vensim. Ventana Systems Inc.1988-2009.
- 15- Forrester Jay, Industrial Dynamics, Waltham MA. New York: Pegasus Communication. 1961.
- 16- Samaei, M, Afshar A,Gharavi M. modelling of phytoplankton and zooplankton in Reservoir by System Dynamics. j water and wastewater. 2004:52-59. [Persian]
- 17-Jalali M, Afshar A. System dynamics modeling of hydropower reservoir operation. Korea:ICOLD.2004:42-46.
- 18-Craggs R J, Zwart A, Nagls J W, et al.Sunlight disinfection in a highrate pond. Ecological Engineering 2004; 22:113-122.
- 19-Sperling M. V. Performance evaluation and mathematical modelling of coliform die-off in tropical and subtropical waste stabilization ponds. Water research 1998; 33(6):1435-1448.



- 20-Sperling J M V. modelling of coliform removal in 186 facultative and maturation ponds around the world. *Water res* 2005; 39:5261-5273.
- 21- Buchauer k. Comparison of Model Approaches for Predicting Coliform Removal in Waste Stabilization Ponds. *Water and Environment Journal* 2007;21: 108-113.
- 22- Nameche TH, Vassel J L. Hydrodynamic studies and modelization for aerated lagoons and waste stabilization ponds. *Wat Res* 1998; 32( 10):3039-3045.
- 23- Moreiraa J. F, Cabrala R, Oliveirab A R, et al. Causal model to describe the variation of faecal coliform concentrations in a pilot-scale test consisting of ponds aligned in series. *ecological engineering* 2009; 3 5: 791–799.
- 24- Gehring T J , Silva D, Kehl O. Modeling waste stabilization ponds with an extend version of ASM 3. IWA. 8<sup>th</sup> Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds. Brazil. 2009.
- 25-Beran B, Kargi F. A dynamic mathematical model for wastewater stabilization Ponds. *Ecological modelling* 2005;181:39-57.
- 26-Houwelling C D, Kharone L, Escals A, et al. dynamic modelling of nitrification in an aerated facultative lagoon. *Water res* 2008; 42:424-432.
- 27- Senzia M A , Mayo A W, Mbwette T S A, et al. Modelling nitrogen transformation and removal in primary facultative ponds. *Ecological Modelling* 2002; 154:207–215.
- 28- Pengab J F , Wangb BZ , Songa YH ,et al. Modeling N transformation and removal in a duckweed pond: Model application. *Ecological modelling* 2007; 206: 294–300.
- 29- Pengab J F, Wangb BZ, Songa YH, et al. Modeling N transformation and removal in a duckweed pond: Model development and calibration. *Ecological modelling* 2007; 206: 147–152.
- 30- Qitao Yi a, Chinyu Hurb, Youngchul Kima. Modeling nitrogen removal in water hyacinth ponds receiving effluent from waste stabilization ponds. *ecological engineering* 2009; 35: 75–84.
- 31- Baetaa A, Niquilb N , Marquesa J C ,et al. Modelling the effects of eutrophication , mitigation measures and an extreme flood event on estuarine benthic food webs. *Ecological Modelling*, 2011; 222 :1209–1221.
- 32- Guozheng Wu , Zongxue Xu. Prediction of algal blooming using EFDC model: Case study in the Daoxiang Lake. *Ecological Modelling* 2011; 222 :1245–1252.
- 33- Ruzicka J c , Wainwrightb T C , Petersonb W T A. simple plankton model for the Oregon upwelling ecosystem: Sensitivity and validation against time-series ocean data. *Ecological Modelling* 2011;222:1222–1235.
- 34- Chapra Steven C. *Surface Water-Quality Modeling*. USA: McGraw-Hill. 1997.
- 35- Samaei MR. modelling of eutrophication by System Dynamics. [MSc thesis]. Iranian university of science and technology. 2004 [ Persian].
- 36- Mesple F, Casellas, C , Troussellier M , et al. Modelling orthophosphate evolution in a high rate algal pond. *Ecological Modelling* 1998; 89: 13-21.
- 37- Isazade S. measurement of phosphorus release from sedimentations and it's modeling in Latian dam. [MSc thesis]. Iranian university of Sharif. 2004 [ Persian].



## ***Phosphorus Modeling in Yazd Facultative Pond***

***Ehrampoush M H<sup>\*</sup> (Ph.D) Shahsavani E<sup>\*\*</sup> (MS.c) Samaei M R<sup>\*\*\*</sup> (MS.c) Ebrahimi A<sup>\*\*\*</sup> (MS.c) Ghelman V<sup>\*\*\*\*\*</sup> (BS) Salehi A<sup>\*\*\*\*\*</sup> (BS) Talebi P<sup>\*\*\*\*\*</sup> (BS) Shahsavani Esmail<sup>\*\*\*\*\*</sup> (MS.c)***

*\* Professor, Department of Environmental health, Shahid Sadughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran*

*\*\* Corresponding Author: MS.c Student in Environmental Health Engineering, Shahid Sadughi University of Medical Sciences Yazd, Iran.*

*\*\*\* Ph.D Student in Environmental health Engineering, University of Medical Science, Tehran, Iran.*

*\*\*\*\* Bachelor of Science in Environmental health Engineering.*

*\*\*\*\*\* MS.c student in Environmental health Engineering, Shiraz University of Medical Science, Shiraz, Iran.*

### **Abstract**

**Background:** Waste stabilization ponds are simplest systems applied by human to treat the biological degradable materials. Today, computerized tools and special mathematical modeling is used to manage environmental systems problems. System Dynamics is a system for problems analysis when time is a significant factor. It includes the way action and reaction of system is encountered by external thistles.

**Methods:** After sampling and testing, phosphorus was modeled by using mathematical relationships and system Dynamics method. After making the initial model and its testing, the model was calibrated using three months data from facultative pond in Yazd city in Iran.

**Results:** Algal growth rate, phosphorus settling rate and losses due to algal respiration and excretion were from important agents. Respiration rate of herbivorous zooplankton, non living carbon hydrolysis rate and phosphorous to chlorophyll ratio were from low important agents. Respiration rate of carnivorous zooplankton and phosphorous to carbon ratio were from unimportant agents.

**Conclusion:** In comparison with other models, our System Dynamics Model needs low data. This is also a cheap model and we perceived good operation of it. In sensitive analysis, algal growth rate and phosphorus settling rate were important in phosphorus removal. So, we can manage facultative pond better with increasing retention time in pond. Phosphorous to chlorophyll ratio had low important role in this model. Thus, system can tolerate phosphorous variations in inlet wastewater with sufficient algal growth. Respiration rate of carnivorous zooplankton and phosphorous to carbon ratio do not limit system equilibrium. Ability of the model increases with sufficient retention time and further data. System Dynamics ecological models give useful information for facultative ponds. It is recommended this model be used for management affairs and overall assessment of facultative ponds. For more precise assessment, it is apposite to use two or three dimensions models substitute zero dimensions models.

**Keywords:** Soluble reactive phosphorus, System Dynamics modeling, Facultative pond, Yazd city