



مدل دینامیکی ریاضی حاکم بر پارامترهای کیفی در تصفیه فاضلاب به روش برکه تثبیت

سید احمد میر باقری^۱، شهره فنائی پور^۲، حمید رضا ارومیه^۳

sh_fanaipour63@yahoo.com

برکه‌های تثبیت از جمله روش‌های تصفیه می‌باشند، که فاضلاب خام را بوسیله روش‌های کاملاً طبیعی در اثر واکنش جلبک و باکتری تصفیه می‌کنند. در این تحقیق یک مدل ریاضی-دینامیکی برای پیش‌بینی کیفیت خروجی برکه‌های تثبیت فاضلاب بر روی برکه هوازی به‌کار گرفته شده‌است. به منظور یک ارایه کامل، از اثر متقابل ستون آب-رسوب و آب-هوا، مدلی هیدرولیکی یک بعدی با در نظر گرفتن پخش جریان در راستای افقی تعیین و برای حل عددی معادله دیفیوژن در حالت یک بعدی از دستگاه معادلات دیفرانسیل جزئی استفاده گردیده و تغییرات اکسیژن محلول، بیوماس و غلظت جلبک‌ها با زمان و ابعاد برکه با استفاده از مدل دینامیکی برآورد شده‌است. هدف این مدل شبیه‌سازی و امکان بهبود عملکرد برکه‌های موجود می‌باشد. مدل بر پایه اطلاعات جمع‌آوری شده از یک برکه تثبیت واقع در شرق اصفهان ارزیابی و کالیبره شده و نتایج خوبی با توجه به مشاهدات بدست آمده است.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، برکه تثبیت، تصفیه بیولوژیکی، فاضلاب

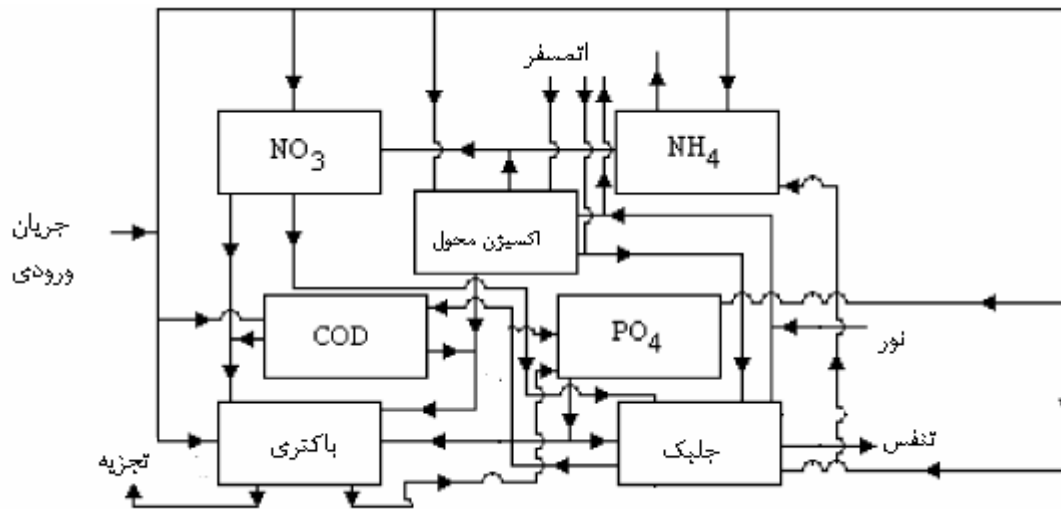
مقدمه:

برکه‌های تثبیت به عنوان ساده‌ترین نوع تکنولوژی تصفیه فاضلاب‌های شهری و در بعضی موارد صنعتی پیشنهاد می‌شود و به طور گسترده در کشورهای در حال توسعه و به خصوص در مناطق روستایی استفاده می‌شوند. این برکه‌ها فاضلاب خام را به وسیله روش‌های کاملاً طبیعی در اثر واکنش جلبک و باکتری تصفیه می‌کند [1]. مشکلاتی که در عصر حاضر در چرخه تصفیه فاضلاب وجود دارد و با توجه به کمبود میزان آب در دنیا و میزان آلودگی ایجاد شده در محیط زیست و با توجه به هزینه‌های گزافی که در زمینه تصفیه پرداخته شده‌است، تعیین بهترین نوع روش تصفیه و شناخت عوامل تاثیرگذار در آنها ضروری می‌باشد و تاکنون نیز تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است ولی با توجه به اینکه انجام این تحقیقات متکی بر آزمایش‌های پایلوت می‌باشد و به دلیل هزینه‌های بسیار بالا، احتمال خطر و زمان‌بر بودن آنها همیشه امکان‌پذیر نیست. لذا مدل ریاضی برای انواع روش‌های تصفیه و وسیله‌ای است که در صورت طرح مناسب می‌تواند بدون ایجاد هزینه‌های زیاد طرح را توجیه و یا رد کند و وسیله‌ای برای شناخت بیشتر عوامل موثر در تصفیه باشد [2]. مدل‌های زیادی برای پیش‌بینی کیفیت برکه‌های تثبیت پیشنهاد شده است. اغلب برای مدل‌سازی و طراحی، راکتور با اختلاط کامل، با واکنش مرتبه اول پیشنهاد می‌شود. بیشتر مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی کیفیت پساب‌های خروجی برکه‌های تثبیت بر اساس حذف BOD و کلیفرم و بعضی از مدل‌های اکولوژیکی برای پیش‌بینی رفتار برکه‌های تثبیت بنا شده‌اند. این مدل‌های اکولوژیکی بر پایه اصول بقا، موازنه واکنش و قوانین ترمودینامیک بوده‌اند. بار بران و همکارانش در سال (2003) مدل دینامیکی ریاضی را برای کیفیت سیال خروجی بر روی برکه تثبیت مورد بررسی قرار دادند و با توجه به آزمایش‌های آماری بر روی این مدل ضریب همبستگی برای اجزاء مختلف بین $0/89-0/99$ درصد بدست آوردند [3]. کمبو و همکارانش در سال (1999) بر روی برکه تثبیت تغییرات روزانه اکسیژن محلول را با تاثیر عواملی از جمله نفوذ نور، دما و CO_2 را مورد بررسی قرار دادند. این مدل با اندازه‌گیری دیتاهای روزانه مورد بررسی و معتبرسازی قرارگرفت و ضریب همبستگی را برابر $0/87$ درصد بدست آوردند [4]. هدف اصلی ما در این بررسی، ایجاد مدلی است که بتواند به طور مستدل، فرآیندهای دینامیکی را که برای برآورد کیفیت خروجی در شرایط بهره‌برداری مختلف وجود دارند، را مورد بررسی قرار دهد. این تحقیق از قانون حداقل «لاینینگ» برای تمام معادلات رشد تحت شرایط دینامیکی استفاده می‌کند.

1

-2

-3



شکل 1 پروسه مورد بررسی در مدل دینامیکی برکه تثبیت

جلبک به عنوان مهمترین عامل در این نوع تصفیه می‌باشد که از دی اکسید کربن محلول در حالت یون بی‌کربنات و کربنات برای تولید کربن غیر آلی برای رشد خود استفاده می‌کند. گاهی اوقات این کار سریع‌تر از آن است که بتواند با تنش باکتری‌ها و هوادهی سطحی جایگزین شود، در نتیجه منجر به افزایش pH می‌شود، که به نوعی محدودیت محسوب می‌شود. علاوه بر این، مدل به این حقیقت توجه دارد که جلبک‌ها می‌توانند از آمونیاک یا نیترات نیتروزنی نیز به عنوان منبع تغذیه و تولید اکسیژن استفاده کنند. این مدل دینامیکی شامل دو زیر مدل اصلی است، یکی از آنها شرایط هیدرولیکی را با در نظر گرفتن پخش طولی (Dispersion) توضیح می‌دهد و دیگری بر روی تغییرات بیوشیمیایی در درون سیستم، تمرکز می‌کند. معادلات دینامیکی مدل

در این تحقیق یک مدل ریاضی دینامیکی برای پیش‌بینی کیفیت خروجی برکه‌های تثبیت فاضلاب به کار گرفته شده‌است. تغییرات COD، اکسیژن محلول، بیوماس و غلظت جلبک‌ها با زمان و ابعاد برکه با استفاده از مدل دینامیکی برآورد شده‌است. این مدل یک مدل پویا-توزیعی می‌باشد، که به بررسی تغییرات در برکه تثبیت در گام‌های زمانی و مکانی می‌پردازد. برای تعیین تغییرات غلظت از معادله جابه‌جائی-پخش در یک بعد برای بررسی تغییرات کیفی برکه استفاده می‌شود [5].

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - u \frac{\partial c}{\partial x} + S_c$$

C: غلظت متغیر مربوطه (gm^{-3})
 t: زمان (day)

D_x : ضریب پخش طولی ($m^2 day^{-1}$)
 u: سرعت متوسط آب در جهت محور x ($mday^{-1}$)

S_c: جمع نرخ‌های ورودی و خروجی
 x: طول برکه (m)

جمع نرخ‌های ورودی و خروجی برای هر یک از موارد قابل تغییر در برکه به صورت جداگانه تعیین شده که میزان ورودی و خروجی و مقدار تغییرات هریک از پارامترها را در برکه مشخص می‌کند.

مقدار ثابت = $S_c = \frac{\delta c}{\delta t}$

معادلات دینامیکی برای هر یک از اجزاء موثر در تصفیه در برکه هواری مطابق جدول 1 می‌باشد. که شامل معادلات تغییرات غلظت جلبک، بیوماس، اکسیژن محلول و COD محلول می‌باشد. مطابق این معادلات تغییرات جلبک و بیوماس در برکه تابعی از میزان رشد آن و تاثیر عوامل موثر در رشد از جمله دما، شدت نور، pH و اثر مواد مغذی می‌باشد، میزان تغییرات اکسیژن محلول در برکه علاوه بر فتوسنتز و تحویه سطحی به تنفس و دفع توسط جلبک‌ها و همچنین مصرف اکسیژن بوسیله عمل نیتریفیکاسیون و اکسیژن زدائی بوسیله باکتری‌های هیتروتروفیک وابسته است. اکسیژن مورد نیاز شیمیایی محلول یکی از روش‌های تعیین شدت آلودگی فاضلاب‌های شهری و صنعتی می‌باشد که تابعی از سوخت و ساز جلبک‌ها و مصرف آن بوسیله باکتری‌های هواری و بی‌هواری می‌باشد. مواد مغذی از جنبه‌های بسیاری مورد توجه می‌باشند ولی آنچه حائز اهمیت است، تاثیر این مواد در رشد جلبک‌ها می‌باشد. مواد مغذی به صورت‌های مختلفی وجود دارند ولی معمولاً به صورت محلول جذب جلبک‌ها می‌گردند که در مورد نیتروزن و فسفر به شکل آمونیاک، نیترات و فسفات به چشم می‌خورند. این معادلات دارای ضرایب متفاوتی می‌باشند که با توجه به کارهای انجام شده قبلی و ماهیت این



برکه و با توجه به شرایط آب و هوایی حاکم بر این منطقه این ضرایب انتخاب شده و با توجه به نتایج آزمایشگاهی برای مدل کالیبره شده است که در جدول 2 میزان مقادیر ثابت و کالیبره شده مدل آورده شده است [6,7].
جدول 1 معادلات حاکم بر این مدل:

پارامترها	پروسه	معادلات حاکم
جلبک		$\frac{\delta C_A}{\delta t} = (G_A - BM_A - \frac{VS_A}{\Delta Z} - PR_A)C_A + G$
	میزان رشد جلبکها	$G_A = \mu_{algae} \text{Min} (f_1(N), f_2(I)) f_3(pH) f_4(T)$
	اثر غلظت مواد مغذی	$f_1(N) = \text{Min}(\frac{NH_4 + NO_3}{KHN + NH_4 + NO_3}, \frac{PO_4}{KHP + PO_4})$
	اثر شدت نور	$f_2(I) = \frac{2.718}{K_e H} [\exp(-\frac{I_a}{I_s} \exp(-K_e H)) - \exp(-\frac{I_a}{I_s})]$
	اثر pH	$f_3(pH) = \frac{K_{pH}}{K_{pH} + y} \quad y = 10^{ optpH - pH } - 1$
	اثر دما	$f_4(T) = \exp\left[-2/3 \left \frac{T - T_{opt}}{T_{opt} - T_{min}} \right \right]$
غلظت بیوماس		$\frac{\delta C_B}{\delta t} = (G_B - K_d - \frac{VS_B}{\Delta Z} - PR_B)C_B + G$
	میزان رشد بیوماسها	$G_B = \mu_B \text{Min} [f_1(COD) f_2(N) f_3(O_2) f_4(pH) f_5(I)]$
	اثر غلظت اکسیژن محلول	$f_3(O_2) = \mu_{AE} + \mu_{NO}$
	مصرف در حضور اکسیژن	$\mu_{AE} = \mu_{AE}^{Max} \frac{O_2}{K_{O_2} + O_2}$
	مصرف بدون حضور اکسیژن	$\mu_{NO} = \mu_{NO}^{Max} \frac{KD_{O_2}}{KD_{O_2} + O_2} \frac{NO_3}{KD_N + NO_3}$
	اثر غلظت محلول (COD)	$f(COD) = \frac{COD}{K_{COD} + COD}$
اکسیژن محلول		$\frac{\partial O_2}{\partial t} = \alpha (pht - BM_A) C_A - Nit_{O_2} - R_B + SR + \frac{Q}{V} (O_2^i - O_2^e)$
	فتوسنتز	$pht = (1/3 - 0/3 PN) \cdot G_A \cdot 0$
	ضریب ارجحیت آمونیم در جذب توسط جلبکها	$PN = NH_4 \left(\frac{NO_3}{(KHN + NH_4)(KHN + NO_3)} \right) + NH_4 \left(\frac{KHN}{(NO_3 + NH_4)(KHN + NO_3)} \right)$
	سوخت و ساز در حالت تنفس	$(1 - FCD) \frac{O_2}{KHR + O_2} BM C_A$
	سوخت و ساز در حالت دفع	$(1 - FCD) \frac{KHR}{KHR + O_2} BM C_A$
	نیتریفیکاسیون	$Nit_{O_2} = \psi R_{Nit}$



		نرخ نیتروژنیکاسیون	$R_{Nit} = K_{Nit} \frac{O_2}{(K_{O_2,NT} + O_2)} \cdot \frac{NH_4}{(NH_4 + K_{N,NT})}$
	مصرف باکتری‌های هتروتروفیک		$R_B = (1-Y) \cdot \frac{G_B}{Y} \cdot C_B$
	تهویه سطحی		$S_r = \frac{K_r (O_2^S - O_2)}{\Delta Z}$
		ضریب تهویه	$K_r = (0.728 U_W^{1/2} - 0.317 U_W + 0.0372 U_W^2) \theta_{K_r}^{T-20}$
		غلظت اکسیژن محلول اشباع	$O_2^S = 14/5532 \cdot 0/38217 + 5/4258 \cdot 10^{-3} T^2 - CL(1/665 \cdot 10^{-4} - 5/4258 \cdot 10^{-6} T + 9/796 \cdot 10^{-8} T^2)$
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی محلول			$\frac{\partial COD}{\partial t} = \alpha \cdot f(FBM) \cdot BM \cdot C_A - CO_B - R^{ANAE} + G$
	مصرف COD به وسیله باکتری‌های هوایی		$CO_B = -\frac{G_B}{Y} \cdot C_B$
	مصرف COD در منطقه بی‌هوایی		$R^{ANAE} = -K^{ANAE} \frac{COD}{COD + K_{COD}}$

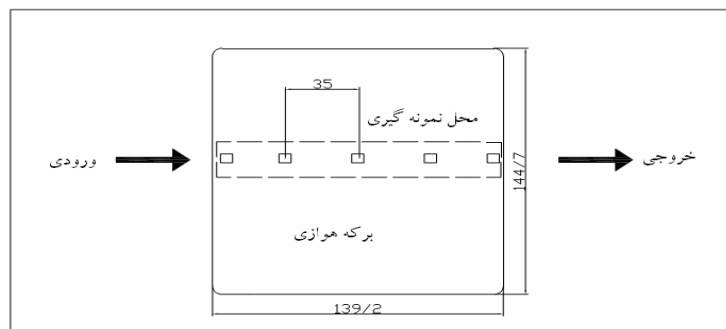
جدول 2: مقادیر ثابت و کالیبره شده مدل

نماد	نام	واحد	مقدار به کار گرفته شده	مقدار توصیه شده	منبع
μ_{algal}	ماکزیمم رشد جلبک‌ها	day^{-1}	0/5	0/5	Moreno-Grau et al.(1996) [10]
BM_A	مقدار سوخت و ساز جلبک‌ها	day^{-1}	0/003	0/003	Moreno-Grau et al.(1996)
VS_A	مقدار ته نشینی جلبک‌ها	$mday^{-1}$	0/1	0/1	WASP 6.0User s Mnuual[11]
PR_A	نرخ مرگ میرغیرشکاری	day^{-1}	0/001	0/001	WASP 6.0User s Mnuual
KHN	ثابت نیمه اشباع نیتروژن	gNm^{-3}	0/025	0/025	WASP 6.0User s Mnuual
KHP	ثابت نیمه اشباع فسفر	gPm^{-3}	0/01	0/01	WASP 6.0User s Mnuual
K_e	ضریب انقراض کاهش نور	m	0/3	0/1-5	Thoma and Mueller
f	کسری از طول روز	-	0/3	0/3-0/7	Thoma and Mueller
I_a	متوسط شدت نور	$g.cal.m^{-2}.day^{-1}$	800	500-1000	Thoma and Mueller
I_s	شدت نور اشباع	$g.cal.m^{-2}.day^{-1}$	300	100-400	Thoma and Mueller
KpH	ثابت pH	-	150	150-250	Kayombo et al.(2000)[4]
$optpH$	مقدار بهینه pH	-	8/5	6-11	Kayombo et al.(2000)
T_{opt}	دمای بهینه	($^{\circ}C$)	20	-	Calibrated
T_{min}	کمترین دما	($^{\circ}C$)	6	-	Calibrated
μ_B	ماکزیمم رشد بیوماس‌ها	(day^{-1})	0/13	-	Calibrated
VS_B	مقدار ته‌نشینی بیوماس‌ها	($mday^{-1}$)	0/001	-	Calibrated

PR_B	نرخ مرگ میرغیرشکاری	(day^{-1})	0/001	0/001	WASP 6.0User s Mnual
K_d	سرعت مرگ و میر بیوماس ها	(day^{-1})	0/06	0/06	Tchobanoglous and Burton (1991)
KD_{O_2}	ثابت نیمه اشباع برای تنفس	(gO_2m^{-3})	0/1	-	Calibrated
KD_N	ثابت نیمه اشباع برای تنفس	(gNm^{-3})	0/1	0/1	Tchobanoglous and Burton (1991)[12]
K_{COD}	ثابت نیمه اشباع برای اکسید کردن COD	(gO_2m^{-3})	40	40	Tchobanoglous and Burton (1991)
Y	yield coefficient	$g_{biomass} g^{-1}COD$	0/8	0/4-0/8	Tchobanoglous and Burton (1991)
R^{ANAE}	ثابت مصرف در منطقه بی‌هوایی	$gm^{-3}day^{-1}$	1/46	-	Calibrated
θ	ضریب تصحیح درجه حرارت	-	1/03	1/005-1/03	Thoma and Mueller
U_W	سرعت باد	(m/s)	4/4	-	-

مواد و روشها

تصفیه‌خانه شرق اصفهان در فروردین 1382 بهره‌برداری شده‌است، این تصفیه‌خانه به ظرفیت تصفیه فاضلاب جمعیتی معادل 500 هزار نفر، تصفیه فاضلاب مناطق مرکزی واقع در شمال رودخانه زاینده‌رود، مناطق شرقی اصفهان، هم‌چنین شهر خوراسگان و تعدادی از روستاهای شرق اصفهان از جمله ارغوانیه، پینارت، سلیمی و دیگر روستاهای مسیر را پوشش می‌دهد. نمونه‌برداری در این تحقیق به مدت حدود یک‌ماه از تاریخ 86/3/24 تا 86/4/15 بر روی این برکه تثبیت از خروجی، ورودی و در نقاط میانی در برکه با فاصله 35 متری با گام زمانی دو ساعت از 7 صبح تا یک بعدازظهر از برکه هوایی انجام شده‌است. در شکل 1 برکه هوایی مورد نظر از تصفیه‌خانه شرق و نقاط نمونه‌گیری نشان داده شده است. پس از نمونه‌گیری و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، آزمایش‌های مورد نیاز برای این تحقیق شامل آزمایش اکسیژن محلول (DO)، COD، BOD، غلظت بیوماس و کلروفیل (a) بر طبق روش استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام شده‌است [8]. برای حل معادلات دیفرانسیل این مدل از روش عددی به روش اختلاف محدود تحت نرم افزار Matlab استفاده شده است و برای شرایط مرزی این معادله، مقدار متغیر وابسته به مقدار بدست آمده بر روی مرزها می‌باشد. سپس با توجه به ضرایب ثابت اولیه معادلات، مدل اجراء شده، با توجه به مقادیر بدست آمده بوسیله آزمایش، مدل کالیبره شده و مقادیر بوسیله مدل برای مکان‌های مختلف در برکه و زمان‌های مختلف روز تخمین زده شده است سپس بوسیله روش‌های آماری از جمله درصد تفاوت، ضریب تبیین، ضریب ناش-ساتکلیف و روش t استیودنت مدل ارزیابی شده است. [9]



شکل 2: محل نمونه‌گیری از برکه هوایی تصفیه‌خانه شرق اصفهان

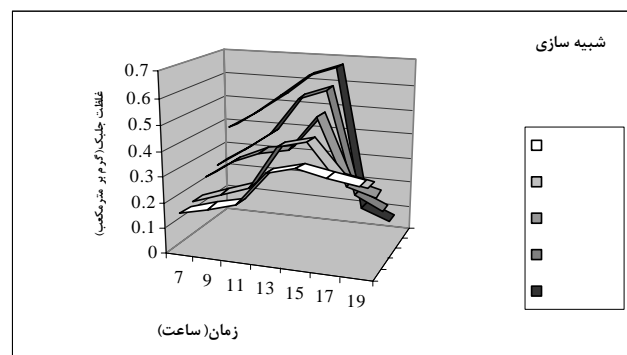
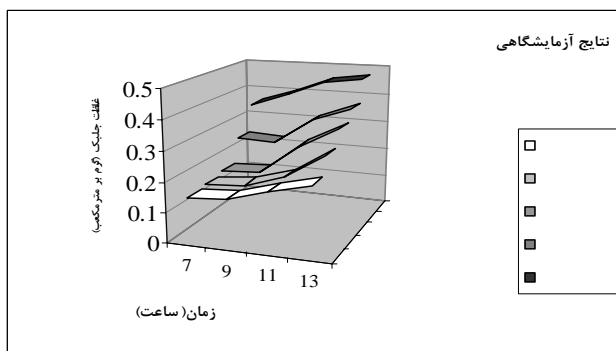
نتایج و بحث

در این تحقیق، این مدل توانست شبیه‌سازی خوبی برای گزینه‌های مختلف داشته باشد. نتایج اعتبارسنجی مطابق جدول 3 می‌باشد که ضریب تبیین برای مدل دینامیکی در مقاطع مختلف در برکه برای همه پارامترها در سطح 95٪ معنی‌دار می‌باشد و بین مقادیر به‌دست آمده توسط مدل و مقادیر آزمایشگاهی تطابق خوبی به‌دست آمده است. همچنین با توجه به مثبت بودن ضریب ناش-ساتکلیف در اکثر مقاطع و معنی‌دار بودن ضریب t در تمامی مقاطع این مدل قادر به شبیه‌سازی خوبی می‌باشد.

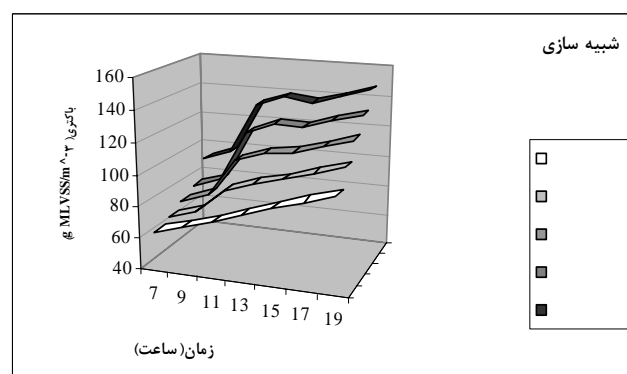
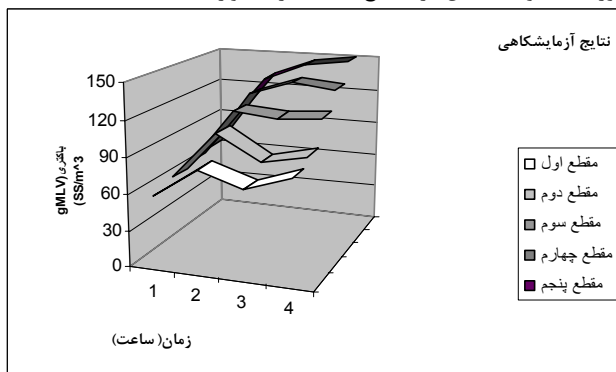
جدول 3 نتایج اعتبار سنجی اجرای مدل، در برکه تثبیت برای پارامترهای مختلف

شاخص آماری					
t بحرانی	t محاسبه شده	N-S	R ²	(/.)D	
2/447	0/77	0/97	0/94-0/98	31/63	توده زنده جلبک
2/447	0/129	0/78	0/97-0/99	12/7	بیوماس
2/447	2/38	0/835	0/998-0/979	14/9	اکسیژن محلول
2/447	0/325	0/27	0/985-0/999	4/23	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی

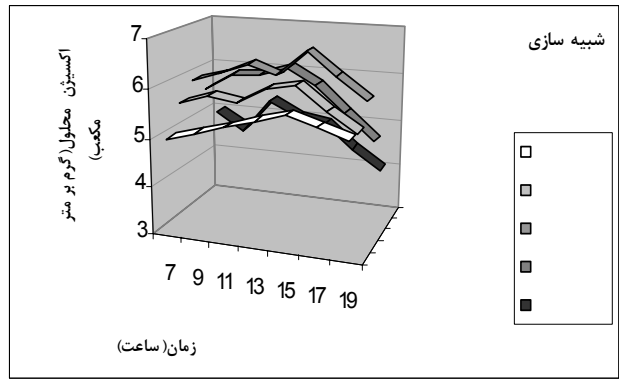
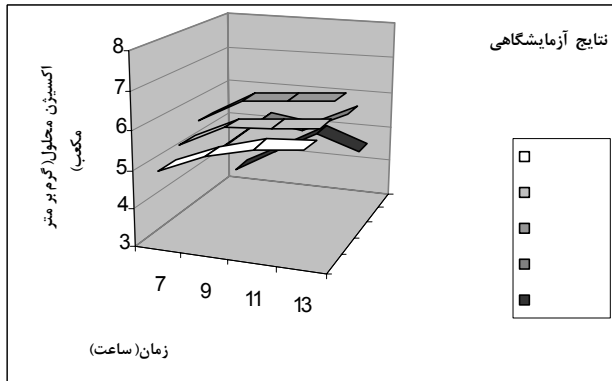
با توجه به نتایج بدست آمده مطابق شکل 3 میزان جلبک در طول برکه در حال افزایش می‌باشد و همچنین در طول روز با توجه به افزایش شدت نور خورشید میزان جلبک افزایش یافته و در بعد از ظهر با کاهش شدت نور خورشید میزان آن کاهش می‌یابد. میزان غلظت بیوماس هم مطابق شکل 4 در طول برکه و در طول روز با افزایش میزان فاضلاب ورودی و با افزایش دما که با افزایش فعالیت بیولوژیکی همراه است، افزایش می‌یابد. به تبع آن میزان اکسیژن محلول هم مطابق شکل 5 در برکه با افزایش میزان جلبک به سبب فتوسنتز افزایش یافته و در بعد از ظهر با کاهش میزان فتوسنتز و افزایش میزان بیوماس، میزان اکسیژن محلول کاهش می‌یابد. تغییرات غلظت COD در برکه مطابق شکل 6 همانند تغییرات اکسیژن محلول و جلبک‌ها می‌باشد. میزان غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد که به سبب فعالیت بیشتر جلبک‌ها در برکه و تولید اکسیژن و وجود باکتری‌ها باعث تجزیه مواد آلی شده و باعث کاهش میزان COD می‌شود. همچنین در شکل 7 و 8 میزان رابطه بین جلبک، بیوماس، اکسیژن محلول و COD را در ساعت 7 و 9 صبح مشاهده می‌کنیم که افزایش میزان جلبک در برکه باعث افزایش بیوماس در برکه و باعث تغییرات اکسیژن محلول در آن و در کل باعث کاهش COD می‌شود. در شکل 9 مقایسه بین COD خروجی در برکه در طول دوره نمونه برداری و ارقام بدست آمده بوسیله مدل نشان داده شده است که ضریب همبستگی 0/98 بین آنها بدست آمده است و مدل قادر به شبیه سازی خوبی می‌باشد.



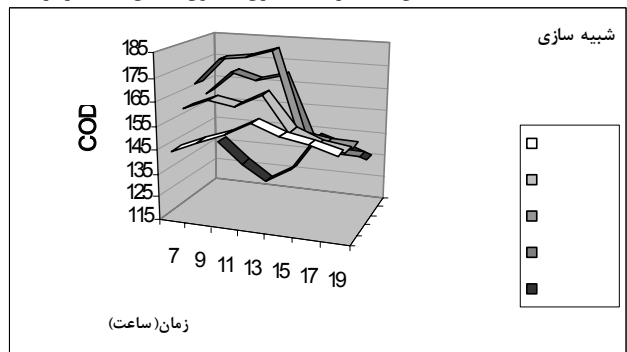
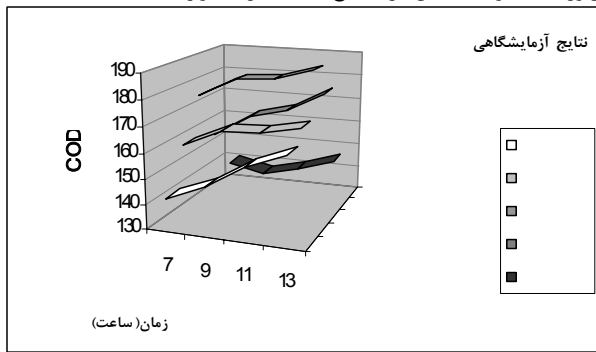
شکل 3: تغییرات غلظت جلبک تعیین شده در آزمایشگاه و برآورد شده بوسیله مدل در مقاطع مختلف برکه هوازی



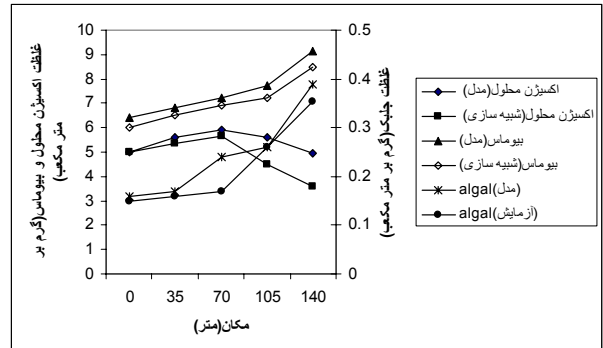
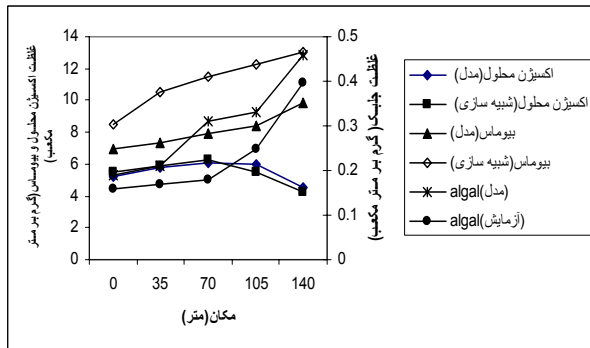
شکل 4: تغییرات غلظت بیوماس تعیین شده در آزمایشگاه و برآورد شده بوسیله مدل در مقاطع مختلف برکه هوازی



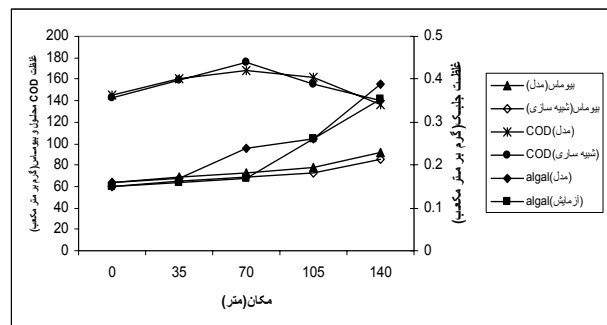
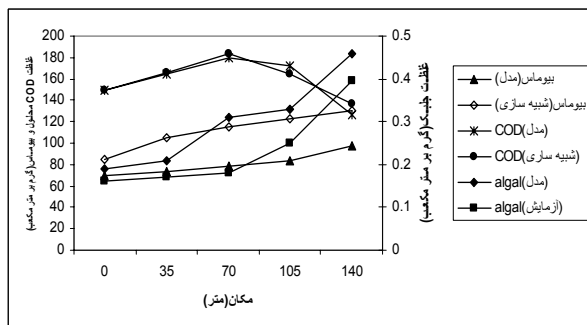
شکل 5: تغییرات اکسیژن محلول تعیین شده در آزمایشگاه و برآورد شده بوسیله مدل در مقاطع مختلف برکه هوازی



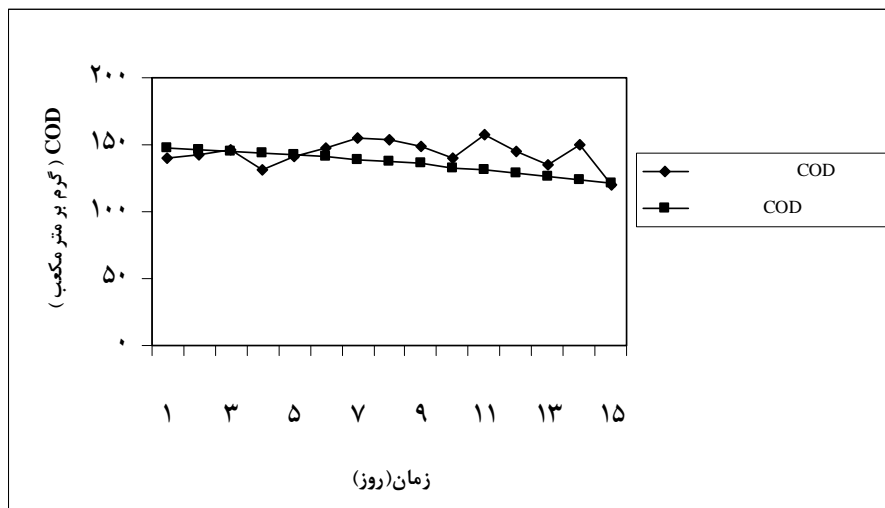
شکل 6: تغییرات اکسیژن مورد نیاز شیمیایی تعیین شده در آزمایشگاه و برآورد شده بوسیله مدل در مقاطع مختلف



شکل 7: مقایسه بین تغییرات غلظت جلبک، اکسیژن محلول و بیوماس مدل و مقادیر آزمایشگاهی به ترتیب 7 و 9 صبح



شکل 8: مقایسه بین تغییرات غلظت جلبک و بیوماس مدل و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی مقادیر آزمایشگاهی به ترتیب 7 و 9 صبح



شکل 9: مقایسه روند تغییرات خروجی اکسیژن مورد نیاز شیمیایی برکه مقادیر آزمایشگاهی و مدل در طول دوره نمونه برداری

- 1-Mara, D.D., Pearson, H., Design Manual For Waste stabilization Ponds India Countries, Lagoon Technology, Leeds, England,1997.
- 2- Jeppsson, U., Modelling Aspects of Wastewater Treatment processes, Lund University ,1996.
- 3- Beran, B., Kargi, F., " A dynamic mathematical model for wastewater stabilization ponds" ,Ecological Modeling, Vol 181,pp 36-57,2005.
- 4- Kayombo, S., Mbwette, T.S.A., Mayo, A. W., Katima, J.H.Y., Jorgensen, S.E., Modelling diurnal variation of dissolved oxygen in waste stabilization ponds. Ecol. Model. 127, pp 21-31,2000.
- 5- ترابیان، ع.، هاشمی، ح.، (مترجم) (مدلسازی کیفی آب‌های سطحی)، انتشارات دانشگاه تهران
- 6- Fritz, J.J., Middleton, A.C., Meredith, D.D., Dynamic process modeling of wastewater stabilization ponds. J. Water Pollut. Cont. Fed. 51, 2724-2743, 1979.
- 7- Gloyna, E.F., wastewater stabilization ponds, World Health Organization(WHO), Geneva,1992.
- 8- APHA, American Public Health Association, Standard Methods for the xamination of Water and Wastewater, 18th ed. Washington DC, 1992.
- 9- رضایی، ع.، مر محمدی میبدی، ع.، آمار و احتمالات ، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان-مرکز انتشارت، 1384.
- 10- Moreno-Grau, S., Garcia-Sanchez, A., Moreno-Clavel, J.,Serrano Aniorde, j., Moreno-Grau,M.D., A mathematical model for wastewater stabilization ponds with macrophyts and microphytes. Ecol. Model. 91,77-103,1996.
- 11- Wool, T.A., et al., 2004. WASP6, Water Quality Analysis Simulation Program, User Manual, and Programmer s Guide. U.S.Environmental Protection Agency, Athens, GA.EPA/600/387-039
- 12- Tchobanogolous, G., Burton, F.L. (Metcalf and Eddy), 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse ed McGraw-Hill, NY