علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره ۵ ، تابستان۱۳۹۶

مدل سازی کمی و کیفی رودخانه بهمنشیر و کانال های آب رسان

نوید دولت آبادی فراهانی [۱]*

navid.dolatabadi@modares.ac.ir

حمید طاهری شهر آیینی [۲]

محسن ناصری [۳]

مسلم قاسمی [۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۱۳ **تاریخ پذیرش:۱۳۹۴/۰۱/۱۸**

چکیده

زمینه و هدف: رودخانه بهمنشیر یکی از منابع مهم آب در جنوب غرب ایران می باشد که دخول شوری و سایر آلاینده‌ها، این رودخانه را تحت تاثیر قرار داده است در این مطالعه، مدل سازی کمی و کیفی رودخانه بهمنشیر به همراه کانال های آب رسانی مجتمع پرورش میگوی چوئبده با استفاده از نرم افزار MIKE11 انجام یافته است.

روش بررسی: ابتدا با مدل سازی هیدرولیکی یکپارچه رودخانه و کانال های آب رسان، عدد مانینگ برای این رودخانه برابر با ۰/۰۱۸ برآورد گردید. سپس اقدام به مدل سازی شوری با استفاده از حل معادله همرفت- پخش شد و ضریب پخش طولی رودخانه مورد کالیبراسیون و صحت‌سنجی قرار گرفت و ضریب پخش طولی برای این رودخانه برابر با $2500v^{1}$ تعیین شد. در ادامه به مدل‌سازی پارامترهای کیفی نظیر اکسیژن محلول، نیترات، آمونیاک، BOD و دما در طول رودخانه و کانال‌های آب‌رسان با استفاده از زیر برنامه ECOLAB پرداخته شد. با آنالیز حساسیت پارامترهای مختلف مدل، پارامترهای مهم مدل مشخص و کالیبره شدند و مدل کالیبره‌شده مورد صحت‌سنجی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد رفتار کانال های آب رسان از نوع راکتور اختلاط کامل می باشد و با محاسبه ضرایب تبدیل پارامترهای مختلف رودخانه به کانال، تغییرات غلظت شوری و دیگر پارامترهای کیفی در کانال ها محاسبه و مقدار متوسط شوری، اکسیژن محلول، آمونیاک و نیترات در کانال ها حدود ۲۷۰۰۰ ، ۳ ، ۳ و ۵ ppm تعیین شد. این پارامترها در رودخانه به ترتیب ۵۳۰۰، ۲/۲، ۱/۲ و ۱۱ ppm تعیین شدند. مدلهای هیدرولیکی، شوری، اکسیژن محلول، دما، آمونیاک و نیترات توسعه داده شده در مرحله صحت سنجی به ترتیب دارای ضریب همبستگی ۰/۹۵ و درصد خطای مطلق به ترتیب برابر ۷/۹، ۱۲، ۱/۲، ۰/۷۹و ۰/۳۴ بود.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج مدل‌سازی، قابلیت مدل MIKE11 در شبیه‌سازی کمی و کیفی آب در رودخانه‌های تحت شرایط جزر و مدی را به اثبات رساند.

واژه‌های کلیدی:مدل‌سازی هیدرولیکی، مدل‌سازی شوری، مدل‌سازی کیفی، رودخانه بهمنشیر، کانال‌های آب‌رسان، نرم‌افزارMIKE11.

۱*-(مسوول مکاتبات): کارشناسی‌ارشد مهندسی عمران و محیط زیست، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

۳- دکتری، مهندسی عمران، پردیس فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴-کارشناسی ارشد، آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

J.Env. Sci. Tech., Vol 19, Special No.5, Summer 2017

Water quality and quantity modelling in Bahmanshir River and its channels

Navid Dolatabadi Farahani [1]*
Navid.dolatabadi@modares.ac.ir
Hamid Taheri Shahraiyni [2]
Mohsen Nasseri [3]
Moslem Ghasemi [4]

Abstract

Background and Objective: Bahmanshir River is one of the main water resources in southwest Iran. Salinity intrusion and other pollution sources have influenced the water quality in this river. In this study, quantitative and qualitative modeling of Bahmanshir River and the water channels of Choebdeh shrimp culture is performed using MIKE11 software.

Method: First, manning number of the river is estimated as 0.018 by integrated hydraulic modeling of the river and its water channels. Then, dispersion factor of the river is calculated as $2500v^1$ (v: velocity) by solving Advection-Dispersion equation. Modeling of water quality parameters, such as dissolved oxygen, nitrate, ammonia, BOD and temperature, is performed using ECOLAB module in the MIKE11 software. The major parameters in the water quality model are determined using sensitivity analysis. These parameters were calibrated and the calibrated model is verified.

Findings: The results showed that the water channels behave as complete mix systems. Conversion coefficients of water quality parameters are calculated, and then the average values of salinity, dissolved oxygen, ammonia and nitrate in the channels are calculated as 27000, 3, 3 and 5 ppm, respectively. In addition, these parameters in the river are about 5300, 2.2, 1.2 and 11 ppm, respectively. The correlation coefficient of developed hydraulic model in verification step is 0.95 and the percent of absolute error of verified salinity, dissolved oxygen, temperature, ammonia and nitrate models are 7.9, 12, 1.2, 0.79 and 0.34, respectively.

Conclusion: The results demonstrated the capability of MIKE11 for water quality and quantity modeling in tidal rivers.

Keywords: Hydraulic modeling, Salinity modeling, Quality modeling, Bahmanshir River, Water channels, MIKE11 software.

1- MSc Civil and Environmental Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University. Tehran, Iran. * *(Corresponding Author)*
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
3- PhD Civil Engineering, Technical College, Tehran University, Tehran, Iran.
4- MSc Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.

مقدمه

در چند دهه اخیر به علت رشد بهره برداری از منابع آب، استفاده زیاد از سموم دفع آفات کشاورزی و همچنین افزایش جمعیت، آلودگی آب های سطحی شدت بیش تری یافته است. از حدود ۴۰ سال قبل رودخانه های کارون و بهمنشیر دچار افت کیفیت شدند(۱). وجود لوله های انتقال نفت آبادان-ماهشهر که از روی رودخانه بهمنشیر می گذرد گاهی به دلیل شکستگی ها و همچنین ورود فاضلاب بسیاری از مناطق مرکزی آبادان به رودخانه بهمنشیر، آب شرب را آلوده می کند زیرا دارای شبکه جمع آوری فاضلاب مناسبی نبوده و فاضلاب آن ها به شکل نامناسبی وارد بهمنشیر می شود. بیش از فاضلاب شهری، فاضلاب های صنعتی و کشاورزی وارد این رودخانه شده است به نحوی که از کیفیت آب آن به شدت کاسته شده است. از طرفی از سال ۱۹۲۵، دخول آب شور دریا از خلیج فارس به دلتای اروند-بهمنشیر-کارون مشاهده شده است. کاهش آب، دخول آب شور دریا و کاهش افت کیفیت، شرایط نامساعدی از کیفیت و کمیت آب بهمنشیر را رقم زده است. وجود سایت های عظیم پرورش میگو چوئبده در پایین دست این رودخانه و نیاز کیفی آن ها و شوری نسبتا بالای مورد نیاز میگو از یک سو و وجود شش میلیون نخیلات جزیره آبادان و نیاز کمی و کیفی و شوری پایین مورد نیاز نخل ها از سوی دیگر، اهمیت مطالعه و مدل سازی وضعیت کمی و کیفی این رودخانه را آشکار می سازد. تاکنون مطالعات گسترده ای بر روی این رودخانه صورت گرفته است که می توان به موارد زیر اشاره کرد.

طرح مطالعات آب رسانی و آبیاری جزیره آبادان (مهاب-سوئکو) جزو اولین و اساسی ترین مطالعات انجام گرفته در منطقه مطالعاتی بوده است(۲). آبادان، بهمنشیر خواهد بود. لذا اقدام به مدل سازی شوری بهمنشیر با استفاده از یک مدل ریاضی شد. مدل استفاده شده در این مطالعات، مدل Harleman بود(۳) در این مدل سازی میزان ضریب پراکندگی در دهانه برابر $۱۳۰۰ \frac{m^3}{s}$ در نظر گرفته شده است.

مظاهری (۱۳۷۵) اقدام به مدل سازی هیدرولیکی رودخانه بهمنشیر با استفاده از مدل MIKE11 نمود. نتایج مدل سازی نشان داد که ضریب مانینگ برای بهمنشیر ۰/۰۲۵ است و سرعت ها برای شرایط قبل از لایروبی و شرایط فرضی بعد از لایروبی محاسبه شدند. همچنین ملاحظه گردید که ۴۰٪ انرژی موج تا سه شاخه میرا می شود، پس بالا دست کارون تحت اثر جزر و مد است و حتی در دبی های کم کارون، اثر جزر و مد تا محل دارخوین نیز پیش روی می کند (۴).

مهندسین مشاور سازه پردازی ایران (۱۳۷۶ الف) اقدام به مدل سازی شرایط هیدرولیکی بهمنشیر قبل و بعد از احداث سد در بالا دست بهمنشیر در فاصله ۲/۲ کیلومتری از سه شاخه و انتقال آب از کارون به بهمنشیر از طریق کانال مارد نمودند. روش کار برای شرایط قبل از احداث سد مشابه مظاهری (۱۳۷۵) بود و مقاطع طولی و عرضی به صورت یک کیلومتر تعیین شدند. شیب رودخانه مشخص و بسیار کم (در طول ۸۰km حدود ۴m اختلاف تراز) می باشد. شرایط مرزی بالا دست نیز با مقدار ثابت ۱۲۰مترمکعب بر ثانیه جایگزین شد که بیانگر حداکثر دبی انتقالی از طریق کانال مارد به بهمنشیر است. البته عدد یاد شده بسیار زیاد بنظر می رسد و نتایج وضعیت انتقال آب فعلی نیز از کارون به بهمنشیر این موضوع را به اثبات رسانده است(۵).

همچنین مهندسین مشاور سازه پردازی ایران (۱۳۷۶ب) اقدام به مدل سازی شوری در بهمنشیر نمودند. در این مطالعات بر خلاف مطالعات قبلی که از مدل های تجربی مثل Harleman یا Salt استفاده شده بود، برای اولین بار اقدام به مدل سازی ریاضی شوری با استفاده از مدل MIKE11 شد. پس از انجام عملیات کالیبراسیون ضریب پخش به صورت $۲۵۰۰v^3$ (v: سرعت آب) به دست آمد(۶).

مهندسین مشاور سازه پردازی ایران (۱۳۸۰) امکان‌سنجی و مکان‌یابی پرورش میگو در قسمت شرقی بهمنشیر را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعات، پارامترهای اساسی برای میگو مد نظر بود لذا شوری، درجه حرارت، pH، اکسیژن محلول آب و مواد معلق جامد آب مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج مطالعات بیانگر فقدان محدودیت جدی از لحاظ کیفیت در بهمنشیر برای پرورش میگو در محدوده چوئبده می باشد. فقط چون که در مواقع جزر و مد شوری آب در بهمنشیر تفاوت فاحشی دارد، پیشنهاد شده است که در ماه های شهریور، مهر و آبان برداشت آب از رودخانه در مواقع مد کامل انجام شود و در هنگام جزر آب گیری انجام نشود(۷).

بطور مشابه تولائی نژاد و همکاران (۱۳۸۵) روی منابع آلاینده در مصب کارون مطالعه کردند و اقدام به مطالعه کیفیت آب در ۱۹ ایستگاه در مناطق جزر و مدی در مصب کارون در نواحی مسکونی خرمشهر و آبادان نموده و میزان اکسیژن محلول، pH، تغییرات BOD و COD و همچنین فلزات سنگین نظیر نیکل، سرب، کادمیوم و جیوه مخصوصا در ایستگاه بهمنشیر را مورد بررسی قرار دادند و روش‌های بهبود مدیریت کیفی برای این مصب ارایه شد(۸).

سامانی (۱۳۸۱) اقدام به مدل سازی شوری در رودخانه‌ی بهمنشیر و انتهای کارون با داده های شهریور ماه ۱۳۷۹ کرد. برای حل ترم هیدرولیک از نرم افزار MIKE11 بهره برد ولی برای مدل سازی شوری اقدام به حل عددی معادله‌ی اساسی شوری کرد و تغییرات شوری در طول رودخانه را مورد بررسی قرار داد(۹).

جعفر زاده و همکاران (۱۳۸۴)، اقدام به مدل سازی کیفی کارون از محل ورود به استان خوزستان تا انتهای بهمنشیر نمودند. آن ها اقدام به نمونه برداری روی رودخانه از ۸۸ نقطه بطور ماهیانه در طول یک سال نمودند و پارامترهای کیفی اندازه گیری شده شامل آنیون‌ها و کاتیون‌ها، بار آلی، شاخص های بیولوژیکی، پارامترهای فیزیکی و فلزات سنگین بودند. سپس از مدل QUAL-2E برای مدل سازی استفاده نمودند و برای محدوده دارخوین تا خلیج فارس ضریب پخش و ضریب مانینگ را به ترتیب ۵۴۹۰/۶ و ۰/۰۲ تخمین زدند. در ضمن میزان نرخ تجزیه و ته نشینی BOD را به ترتیب ۰/۲۱ و ۰/۰۴۷ ($\frac{1}{day}$) محاسبه و تغییرات DO، EC، NH_3، BOD را در طول رودخانه مدل کردند (۱۰).

پارسا و همکاران (۲۰۰۷) از مدل MIKE11 به عنوان مدل ریاضی و از مدل های تجربی مختلف به منظور مدل سازی شوری در بهمنشیر استفاده کردند. بدین ترتیب ضریب مانینگ ۰/۰۱۸ به دست آمد. پس از مدل سازی هیدرولیکی، برای مدل سازی شوری مقدار ضریب نفوذ $\frac{m^2}{sec}$ ۱۲۵۰ برآورد گردید(۱۱). محاسبه میزان طول نفوذ شوری توسط مدل MIKE11 و مدل های تجربی و مقایسه آن ها با داده های میدانی نشان داد که MIKE11 نتایج بهتری از مدل های تجربی ارایه می کند و از طرفی بین مدل های تجربی بهترین مدل برای مدل سازی شوری Van der Burgh بود(۱۲). لذا در صورت امکان مدل سازی ریاضی، استفاده از مدل های ریاضی نسبت به مدل های تجربی اولویت دارد.

وهابیان و سامانی (۱۳۸۷) با استفاده از مدل HEC-RAS اقدام به مدل سازی هیدرودینامیکی سیستم کارون، بهمنشیر، حفار نمودند و سپس یک مدل عددی برای حل معادله انتقال جرم شوری توسعه دادند که از خروجی های مدل HEC-RAS استفاده می‌کرد و این مدل به منظور شبیه سازی شرایط بحرانی موجود و بدترین شرایط محتمل در آینده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده توسط این مدل نشان می دهد که جریان آب شیرین ورودی مهم ترین عامل در تعیین شوری رودخانه بهمنشیر و کارون می باشد(۱۳).

فعال (۱۳۸۸) به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رودخانه بهمنشیر از قبیل کل مواد معلق، دما، نیترات، نیتریت، فسفات، هدایت الکتریکی، آمونیاک، pH، DO، BOD_5 اقدام به اندازه گیری ماهانه پارامترهای یاد شده از دو عمق (سطح و ۲متری) در طول آبان ۱۳۸۳ تا مهر ۱۳۸۴ نمود. ایستگاه های نمونه برداری شامل ۴ ایستگاه در بهمنشیر و یک ایستگاه در کانال حفار بود. طبق آنالیز های آماری انجام یافته به این نتیجه رسید که میزان پارامترها در سطح و عمق تفاوت معنا داری ندارد و این بدین معنی است که اساسا این سیستم یک سیستم کاملا مخلوط در هر منطقه دارد که علت آن شاید اختلاط مدام آب و تلاطم آن به واسطه امواج جزر و مدی باشد(۱۴).

هوشمند و همکاران (۱۳۸۸) ضمن اشاره به این مطلب که باکتریها می توانند باعث بروز بیماری برای آبزیان شوند اقدام به بررسی کیفیت باکتری های آب رودخانه بهمنشیر و استخرهای پرورش میگوی چوئبده نمودند. آن ها از رودخانه بهمنشیر، کانال های آب رسان C_4 , C_5 و استخرهای پرورش میگو مشروب شده از کانال های C_4 و C_5 نمونه برداری کردند و سپس اقدام به شمارش باکتری‌ها نموده و همچنین عوامل فیزیکی-شیمیایی در نمونه ها را اندازه گیری کردند. آنان نشان دادند که در حالت جزر تعداد باکتری ها از حالت مد بیش تر است و کیفیت آب نیز در حالت مد بهتر از حالت جزر است، لذا آب گیری در حالت مد را پیشنهاد می کنند(۱۵).

شرکت مهندسین مشاور دز آب (۱۳۸۹) در طرح تعیین حریم و بستر رودخانه های کارون، اروند و بهمنشیر اقدام به مدل سازی هیدرولیکی در سه رودخانه یاد شده نمود. ضریب مانینگ

محاسبه شده برای بهمنشیر برابر ۰/۰۲۵ بود (۱۶).

با بررسی مطالعات صورت گرفته بر روی شرایط کمی آب رودخانه بهمنشیر و استخرهای پرورش میگوی چوئبده، تاکنون شرایط هیدرولیکی فعلی در بهمنشیر با استفاده از داده های واقعی مدل سازی نشده است از طرفی رودخانه و کانال های آبرسان به صورت یکپارچه و به طور همزمان مدل سازی نشده اند. از طرفی تحقیقات در وضعیت کیفی رودخانه بهمنشیر تنها به مدل سازی شوری اکتفا شده است و تحقیقات کمی که در زمینه مدل سازی پارامترهای کیفی بهمنشیر انجام یافته در شرایطی بوده است که با وضعیت هیدرولیکی فعلی انطباق ندارد. دیگر مطالعات انجام یافته در مورد خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی رودخانه بهمنشیر و کانال های آب رسان که به آن ها اشاره شد، فقط در قالب اندازه گیری های میدانی و تحلیل آماری بوده و هیچ گونه مدل سازی با داده های برداشت شده انجام نگرفته است. در این مطالعه، به مدل سازی کیفی رودخانه بهمنشیر از لحاظ پارامترهای فیزیکی شیمیایی در شرایط هیدرولیکی فعلی و با تأکید بر کیفیت آب رودخانه و کانال های آب رسان پرداخته می شود.

مواد و روش

۱- معادلات حاکم

معادله اساسی مدل سازی کیفی آب به صورت رابطه ۱ می باشد که در این رابطه c غلظت پارامتر کیفی، t زمان، x مکان، D ضریب پخش طولی، u سرعت آب، S_c منبع ورود یا خروج پارامتر کیفی و P_c تغییرات در المان شامل حذف یا اضافه شدن پارامتر کیفی می باشد.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u\frac{\partial C}{\partial x} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + S_c + P_c \qquad (۱)$$

همان طور که مشاهده می شود، برای حل این معادله دیفرانسیل بایستی مقادیر u، D، Sc و Pc مشخص باشد. مقدار u با استفاده از معادلات سنت ونانت مطابق با روابط ۲ و ۳ محاسبه می گردد.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \qquad (۲)$$

$$-g\frac{\partial h}{\partial x} + g(S_0 - S_f) = \frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} \qquad (۳)$$

در این روابط، h عمق جریان در کانال، q دبی جانبی، Q دبی جریان در کانال، g شتاب ثقل، A سطح مقطع جریان، S_0 شیب بستر رودخانه و S_f شیب خط انرژی می باشد. برای محاسبه S_f روابط مختلفی وجود دارد که یکی از مشهورترین آن ها رابطه مانینگ می باشد(۱۷).

ضریب پخش طولی به صورت تابعی از میانگین سرعت جریان به صورت رابطه ۴ بیان می شود(۱۸).

$$D_j^{n+1} = a\left|\frac{Q^{n+0.5}}{A^{n+0.5}}\right|_j^b \qquad (۴)$$

ضرایب a وb مقادیر ثابتی هستند که بایستی در مدل تعیین شود j نشان دهنده مکان یا المان مکانی jام رودخانه و n+1 بیانگر گام زمانی n+1ام در حل عددی می باشند. بنابراین برای محاسبه مقدار D بایستی میزان سرعت مشخص باشد. به عبارت دیگر ابتدا بایستی مدل سازی هیدرولیکی صورت گیرد. مقدار Sc با استفاده از شرایط مرزی که کاربر به مدل می دهد مشخص می گردد، اما محاسبه ترم Pc کمی دشوار است چرا که تغییرات پارامتر کیفی در داخل سیستم تحت تاثیر فرآیندهای مختلف (تجزیه، مصرف، تولید و...) می باشد و پارامترهای مختلف به یکدیگر تبدیل می گردند و کاملا با یکدیگر مرتبط هستند به عنوان مثال ترم Pc برای پارامتر اکسیژن محلول شامل فرآیندهای هوادهی مجدد، نیترات سازی، تجزیه BOD، فتوسنتز، تنفس و اکسیژن خواهی رسوبات می باشد. بایستی مقادیر ضرایب این معادلات که در حدود ۷۰ ضریب می باشد تعیین گردد که البته می توان با استفاده از آنالیز حساسیت ضرایب مهم را مشخص و سپس اقدام به کالیبراسیون آن ها کرد.

۲-منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه، طول رودخانه بهمنشیر و کانال های آب رسان C3، C4 و C5 مجتمع پرورش میگوی چوئبده است. در شکل ۱ کل محدوده منطقه مطالعاتی نمایش داده شده است. رودخانه کارون در قسمت انتهایی خود در نزدیک شهر خرمشهر در محلی به نام سه شاخه حفار، در قسمت جنوب غربی استان خوزستان به دو شاخه منشعب شده است. یک بخش از آن، رودخانه بهمنشیر را به طول حدود ۷۵ کیلومتر ایجاد نموده است که تا خلیج فارس ادامه یافته و در پایین دست به ناحیه شمال غربی خلیج فارس منتهی می شود و بخش دیگر آن از طریق کانال حفار به طول ۳/۴ کیلومتر به رودخانه اروند می پیوندد. سه عامل مختلف در گذشته روی آورد رودخانه بهمنشیر موثر بوده اند. یکی آورد آب کارون، دوم اثر جزر و مد

خلیج فارس روی بهمنشیر و سوم اثر جزر و مد خلیج فارس روی رودخانه اروند که از طریق کانال حفار اثرات جزر و مدی اعمال شده روی اروند رود به سه شاخه حفار و سپس به بهمنشیر و کارون اعمال می شود. به منظور رفع مشکل کیفیت آب بهمنشیر سدی در فاصله ۲/۲ کیلومتری از ابتدای بهمنشیر بعد از سه شاخه حفار ایجاد (شکل ۱) و مانع ورود آب اروند رود به داخل بهمنشیر شد و برای تأمین آب بهمنشیر از طریق کارون، اقدام به احداث ایستگاه پمپاژ در منطقه مارد و ساخت کانالی به نام کانال مارد (شکل ۱) شد که آب را از کارون به بهمنشیر انتقال دهد. این کانال از سال ۱۳۸۷ شروع به کار کرد.

۳-انتخاب مدل مناسب

نرم افزار MIKE11 توسط موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) توسعه داده شده است. این نرم افزار قابلیت مدل سازی هیدرولیکی، شوری و کیفی آب را دارد و تاکنون در مطالعات مختلف در دنیا استفاده شده است (۲۲- ۱۹). زیربرنامه Ecolab نرم افزار MIKE11 به طور کامل و جامع شرایط اندرکنش پارامترهای مختلف در مرتبه های مختلف را پوشش می دهد و قابلیت اتصال به مدل هیدرولیک و همرفت-پخش نرم افزار MIKE11 را داراست. با توجه به داده‌های اندازه-گیری شده و پارامترهای مهم کیفیت آب، از مدل کیفیت آب سطح ۴ نرم افزار MIKE11 استفاده می‌شود، چرا که این سطح، قابلیت مدل سازی ۵ پارامتر اساسی، اکسیژن محلول، دما، آمونیاک، نیترات و BOD را داراست.

۴- اطلاعات و داده‌های پایه موردنیاز

برای مدل سازی شوری و کیفی آب علاوه بر اطلاعات هیدرولیکی نیاز به اطلاعات کیفی رودخانه و کانال ها است که این اطلاعات توسط واحد سنجش آزمایشگاهی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی شریف برداشت و مورد آنالیز قرار گرفت. ایستگاه های برداشت داده شامل منیخ، طره بخاح، اسکله چوئبده، رو به روی کانال C3 ، ابتدا و انتهای کانال C5 و دهانه بهمنشیر می باشد. پارامترهای کیفی اندازه گیری شده شامل شوری، اکسیژن محلول، دما، آمونیاک، نیترات و BOD می باشد. در هریک از ایستگاه های یاد شده از تاریخ ۹۰/۸/۲ تا ۹۰/۸/۸ دو سری داده برداشت شده که سعی شده یک سری از داده ها معرف شرایط جزر و دیگری مربوط به شرایط مد رودخانه بهمنشیر باشد. در این رودخانه روزانه دو بار جزر و دو بار شرایط مد صورت می گیرد. داده ها در بین ساعات ۸ تا ۱۲ صبح به عنوان مد و داده ها در بین ساعات ۱۴ الی ۲۰ به عنوان داده های معرف شرایط جذر در طول رودخانه استخراج شده‌اند. در قسمت بالا دست رودخانه (ایستگاه منیخ) آب شیرین رودخانه کارون از طریق کانال مارد وارد بهمنشیر می شود و به عبارت دیگر، تنها آورد آب در ایستگاه منیخ ناشی از پمپاژ آب کانال مارد است (شکل ۱). میزان دبی و هدایت الکتریکی (EC) آب پمپاژ شده از کانال مارد از گزارش های ماهیانه شرکت بهره برداری تولید و انتقال آب جنوب شرق، استخراج شد که طبق این گزارش ها، دبی در طول این مدل سازی ثابت و برابر با ۳۰ متر مکعب بر ثانیه ثبت شده بود.

شکل ۱- محدوده منطقه مطالعاتی

Figure 1- Study Area

برای مدل سازی شوری و تعیین ضریب پخش طولی با توجه به شرایط مدل سازی، داده های شوری مربوط به ایستگاه های طره بخاح و رو به روی C3 برای کالیبراسیون مدل و داده های مربوط به ایستگاه اسکله چوئبده برای صحت سنجی مورد استفاده قرار می گیرد.

با توجه به موقعیت شهر آبادان که بالاتر از ایستگاه طره بخاح قرار دارد و تاثیر آلاینده های وارد شده به رودخانه بهمنشیر (به خصوص آلاینده های انسانی) به خوبی لحاظ شود. برداشت نمونه پارامترهای کیفی (به غیر از شوری) از ایستگاه طره بخاح تا دهانه بهمنشیر صورت می گیرد

در مدل کیفیت آب مقدار میانگین پارامترها در کل رودخانه به عنوان شرایط اولیه معرفی می‌گردد که مقادیر شرایط اولیه برای پارامترهای اکسیژن محلول، آمونیاک، نیترات، BOD و دما به ترتیب برابر با ۳ppm، ۱ppm، ۱۱ppm، ۶ppm و ۲۸/۸ سلسیوس انتخاب می گردد. با توجه به شرایط مدل سازی، داده های کیفی مربوط به ایستگاه اسکله چوئبده برای کالیبراسیون مدل و داده‌های مربوط به ایستگاه رو به روی C3 برای صحت سنجی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵- آلگوریتم تحقیق

مراحل مختلف آلگوریتم تحقیق به شرح زیر است:

مرحله اول: ابتدا مدل سازی هیدرولیک انجام یافته و با استفاده از داده های تراز سال ۱۳۸۱، مقدار ضریب مانینگ کالیبره شده و سپس توسط داده های تراز سال ۱۳۸۲، مدل مورد صحت سنجی قرار می گیرد. در این مدل سازی مجموعه رودخانه بهمنشیر و کانال های آب رسان به طور همزمان مدل می‌شوند. نظر به این که رودخانه بهمنشیر تحت اثر جزر و مد خلیج فارس است، لذا تراز آب آن در سال های مختلف یکسان می باشد و مدل هیدرولیکی توسعه داده شده قابل کاربرد در دوره زمانی مشابه در سال های دیگر می باشد.

مرحله دوم: با داشتن ضریب مانینگ رودخانه، مدل سازی شوری در طول رودخانه انجام می شود و رفتار کانال های آب رسان با استفاده از داده های اندازه گیری شوری بررسی می شود. در طی مدل سازی شوری، مقدار ضریب پخش کالیبره می شود، سپس نتایج حاصل از مدل کالیبره شده مورد صحت سنجی قرار می گیرد. بدین ترتیب مقدار ضرایب a و b در رابطه (۴) تعیین می‌شود. سپس با توجه به رفتار و عملکرد کانال ها، مقدار شوری کانال ها تعیین می‌شود.

مرحله سوم: پس از تعیین ضریب پخش سیستم، مقدار شوری در طول رودخانه و کانال های آب رسان مورد ارزیابی قرار می گیرد. سپس با استفاده از زیربرنامه Ecolab در نرم افزار MIKE11 اقدام به مدل سازی کیفی می‌شود.

مرحله چهارم: نظر به این که تعداد ضرایب موجود در مدل سازی کیفی بسیار زیاد هستند، بایستی ابتدا آنالیز حساسیت روی متغیرهای سیستم انجام گیرد و ضرایبی که مدل به آن ها حساسیت بیشتری دارند، برای کالیبراسیون انتخاب شوند.

مرحله پنجم: عملیات مدل سازی کیفی انجام یافته و پارامترهایی که در مرحله قبلی به عنوان پارامترهای اصلی سیستم انتخاب شدند، مورد کالیبراسیون قرار می گیرند. در این حالت سیستم مورد مطالعه شامل فاصله بین طره‌بخاح و دهانه بهمنشیر است. پارامترهای مدل کیفی توسط داده های ایستگاه اسکله چوئبده مورد کالیبراسیون قرار گرفته و سپس توسط داده های رودخانه در محل کانال C3 مورد صحت سنجی قرار می گیرد. سپس عملکرد کانال ها مورد بررسی قرار گرفته و از روی مدل کیفی بهمنشیر، مقادیر پارامترهای کیفی کانال های آب رسان تعیین می‌شوند.

نتایج و بحث

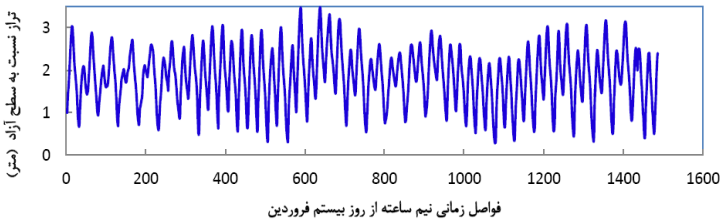
۱- نتایج مدل سازی هیدرولیکی

ضریب مانینگ کالیبره شده برای سیستم رودخانه بهمنشیر عدد ۰/۰۱۸ است و این عدد با نتایج پارسا و همکاران (۲۰۰۷) تطابق کامل دارد. به منظور صحت سنجی مدل، از داده های سری زمانی تراز مربوط به دوره زمانی یک ماهه فروردین و اردیبهشت ماه ۱۳۸۲ (داده های نیم ساعته تراز از ۸۲/۱/۱۹ تا ۸۲/۲/۱۸) استفاده می شود. مقایسه نتایج تراز مدل شده برای ایستگاه اسکله چوئبده با مقادیر واقعی تراز در این ایستگاه بیانگر مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۵ و میانگین قدر مطلق خطا ۰/۳۸ متر است. نتایج صحت سنجی مدل، بیانگر مناسب بودن مدل توسعه و کالیبره شده می باشد. لذا مدل هیدرولیکی توسعه داده شده برای رودخانه بهمنشیر با ضریب مانینگ ۰/۰۱۸ مورد تایید بوده و از آن می توان در هر دوره زمانی و برای تمام مسیر رودخانه بهمنشیر استفاده نمود. به عنوان نمونه تغیرات زمانی تراز آب در ایستگاه اسکله چوئبده و فاصله ۵۰۰۰ متری از انتهای کانال C3 به ترتیب در شکلهای ۲ و ۳ نمایش

داده شده اند. مدل سازی های هیدرولیکی نشان داد که دبی حداکثر رودخانه بهمنشیر در نقاط اتصال به کانال های آب رسان C3، C4 و C5 به ترتیب حدود ۳۰۵۰، ۳۱۵۰ و ۳۴۵۰ (متر مکعب بر ثانیه) می باشد این در حالی است که دبی حداکثر در کانال های C3، C4 و C5 به ترتیب کمتر از ۳۰، ۱۰ و ۵۰ مترمکعب بر ثانیه است. لذا دبی های برداشتی از رودخانه توسط کانال های آب رسان در قیاس با دبی رودخانه بهمنشیر بسیار ناچیز است و بدین دلیل چنانچه قصد داشته باشیم تنها مدل سازی هیدرولیکی رودخانه بهمنشیر را انجام دهیم لزومی بر دخالت دادن اثر کانال های آب رسان نمی باشد.

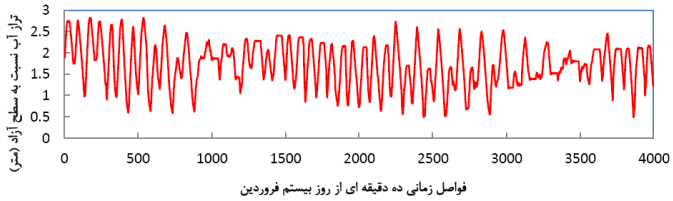
۲-نتایج مدل سازی شوری

در مرحله کالیبراسیون مدل شوری، ضریب پخش طولی به صورت $D = 2500v^1$ محاسبه شد. به عبارت دیگر میزان ضرایب ثابت a و b در مدل کلی به ترتیب برابر با ۲۵۰۰ و ۱ تعیین شدند و محدوده این ضریب در بازه ۱ تا ۵۰ مترمربع بر ثانیه محاسبه گردید. درصد خطای میانگین غلظت شوری در مرحله کالیبراسیون برابر ۶/۱۵ ٪ محاسبه شد که نشان می دهد کالیبراسیون انجام یافته از دقت خوب و درصد خطای بسیار کمی برخوردار است. به منظور اطمینان از کارکرد صحیح مدل شوری اقدام به صحت سنجی این مدل در ایستگاه اسکله چوئبده می شود. نتیجه صحت سنجی بیانگر درصد خطای میانگین غلظت شوری حدود ۷/۹ ٪ می باشد و با توجه به مقدار کم درصد خطا به جرات می توان گفت که مدل به خوبی توانسته است رفتار شوری در طول رودخانه را شبیه سازی نماید و کارایی مناسبی در شرایط جزر و مد رودخانه ارایه کند. مقدار میانگین شوری در کل رودخانه بهمنشیر حدود ۵۳۰۰ ppm تخمین زده شد. مطابق شکل ۴ مشاهده می گردد هرچه به سمت خلیج فارس حرکت می کنیم شوری آب افزایش می یابد. در شکل ۵ به عنوان نمونه تغییرات شوری در محل ایستگاه چوئبده در طول مدت مدل سازی ارایه شده است. همان طور که مشاهده می شود مدل، اثر جذر و مد بر روی میزان شوری را به خوبی نشان می دهد به گونه ای که هنگام مد شوری آب رودخانه افزایش و هنگام جزر میزان شوری کاهش می یابد. دلیل این رفتار بدین صورت می باشد که در حالت مد، آب شور خلیج فارس وارد رودخانه می شود و بنابراین شوری غالب است ولی در حالت جزر آب شیرین رودخانه غلبه دارد و بنابراین شوری کاهش می یابد.



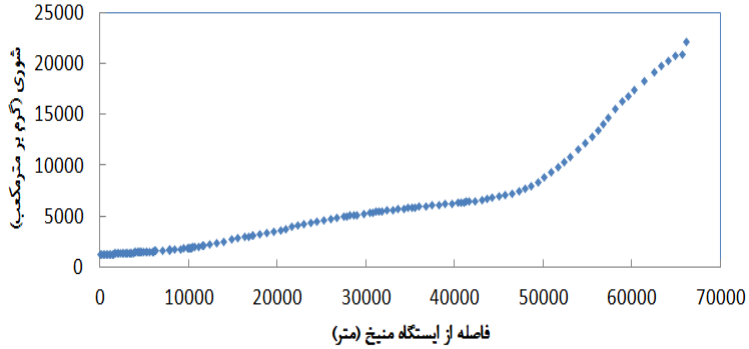
شکل۲- تغییرات تراز آب در ایستگاه اسکله چوئبده

Figure 2- Water level change in Choebdeh Station



شکل۳- تغییرات تراز آب در فاصله ۵۰۰۰ متری از انتهای کانال C3

Figure 3- Water Level change in 5000 meter from end of C3 Channel



شکل۴- میانگین تغییرات شوری در رودخانه بهمنشیر

Figure 4- Salinity Average in Bahmanshir River

شکل۵- تغییرات شوری در ایستگاه اسکله چوئبده

Figure 5- Salinity change in Choebdeh Station

رفتار کانال ها همانند راکتور اختلاط کامل (CSTR[1]) می باشد، زیرا مقدار غلظت شوری و داده های کیفی در طول کانال C5 یکسان بوده و تغییرات محسوسی نمی کنند. لذا اقدام به محاسبه ضریب تبدیل شوری برای کانال های آب رسان می شود این ضریب قادر خواهد بود با استفاده از داده های شوری داخل رودخانه بهمنشیر که متناظر با ورودی کانال ها می باشند، میزان شوری در طول کانال ها را برآورد نماید. با استفاده از میانگین داده های مدل سازی شده در رو به روی کانال C5 در رودخانه بهمنشیر و میانگین داده های اندازه گیری شده در داخل کانال C5، این ضریب برابر با ۱/۳۵ محاسبه گردید. نظر به این که کانال ها از رفتار مشابهی برخوردار هستند، لذا این ضریب برای کانال های C3 و C4 نیز قابل استفاده است. بدین ترتیب مقادیر متوسط غلظت شوری در کانال های C3 تا C5 به ترتیب برابر با ۲۵۹۴۵، ۲۷۴۰۳ و ۲۸۳۱۷ گرم بر مترمکعب محاسبه شدند.

۳- نتایج مدل سازی کیفی

در این بخش قبل از انجام عملیات کالیبراسیون، اقدام به عملیات آنالیز حساسیت شد. با استفاده از آنالیز حساسیت مشخص شد که از بین ضرایب مدل، تنها هشت ضریب نقش مهم در مدل کیفی ایفا می‌نمایند که شامل K_2 (ثابت هوادهی مجدد)، Y_3 (نسبت آمونیاک آزاد شده به ازای تجزیه BOD)، k_s (ثابت نیمه اشباع غلظت اکسیژن)، K_3 (نرخ واکنش مصرف BOD)، θ_3 (ضریب دمایی آرنیوس برای تجزیه BOD)، K_6 (نرخ نیترات زدایی)، θ_6 (ثابت دمایی فرآیند نیترات زدایی) و M (نقش ارتفاع آب در تنفس و فتوسنتز) می باشند.

عملیات کالیبراسیون با تغییر پارامترهای مهم مدل، انجام مدل سازی و محاسبه میزان خطا انجام یافت تا حداقل خطای ممکن حاصل شود. بدین ترتیب ضرایب بهینه برای ضرایب Y_3، k_s، K_3، θ_3، K_6، θ_6 به ترتیب ۰/۳ $(\frac{g\ NH_4}{g\ BOD})$، ۲۰ $(\frac{mg}{l})$، ۱/۳۵ $(\frac{1}{d})$، ۱/۰۵، ۰/۰۶ $(\frac{1}{d})$ و ۱ بوده و اثر ارتفاع آب بر میزان تنفس و فتوسنتز گیاهان مهم است و همچنین برای محاسبه ثابت هوادهی مجدد بایستی از رابطه O'conner/Dubbins (رابطه ۵) استفاده شود و در این رابطه h و u به ترتیب ارتفاع آب (متر) و سرعت آب (متر بر ثانیه) می باشند.

$$K_2 = 3.9 + u^{0.5} + h^{-1.5} \quad (۵)$$

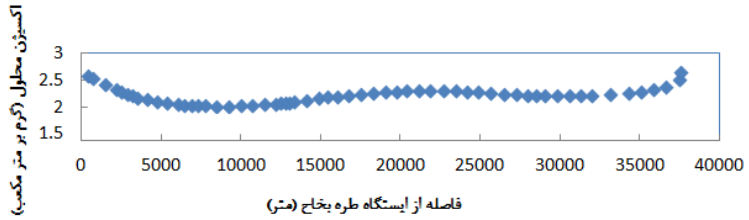
درصد خطای میانگین اکسیژن محلول، آمونیاک، نیترات و دما

1-Continuous Stirred Tank Reactor

در مرحله کالیبراسیون به ترتیب برابر ۰/۷۴، ۰/۸۹، ۰/۲۸ و ۲/۴۶ محاسبه شد که نشان می دهد کالیبراسیون انجام یافته از دقت خوب و درصد خطای بسیار کمی برخوردار است. لازم به ذکر است به علت وجود داده های اندک برای پارامتر BOD، این پارامتر به طور مجزا مورد کالیبراسیون قرار نگرفته است ولی به علت درصد خطاهای بسیار اندک برای سایر پارامترها که به طور توام با پارامتر BOD رفتار می‌نماید، انتظار می رود درصد خطای پارامتر BOD نیز بسیار کم و در حد دیگر پارامترها باشد.

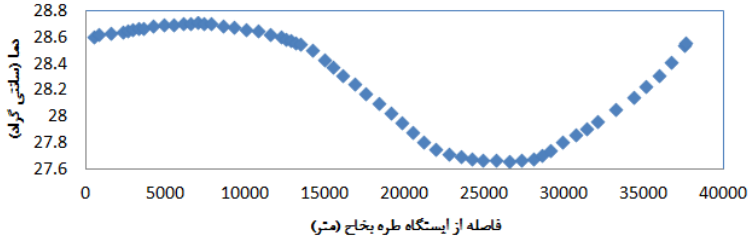
دامنه وسیعی برای نرخ تجزیه BOD (K_3) گزارش شده است ($\left(\frac{1}{day}\right)$ ۱/۵-۰/۱). نرخ تغییرات تجزیه پذیری فاضلاب های صنعتی بسیار وسیع است. به عنوان مثال پساب یک کارخانه قند دارای K_3 =۰/۷۵ $\left(\frac{1}{day}\right)$ بوده است(۲۳) در حالی که برای یک کارخانه کاغذ سازی K_3 =۰/۲۵ $\left(\frac{1}{day}\right)$ به دست آمده است(۲۴). مقادیر پیشنهادی Y_3 برای فاضلاب های تصفیه بیولوژیکی شده در دامنه ۰/۰۱ تا ۰/۱ است که ۰/۰۶۵ $\frac{g\,NH_3-N}{gO_2}$ انتخاب مناسبی است. همچنین برای فاضلاب های خام دامنه بین ۰/۱ تا ۰/۶ بوده و عدد ۰/۳ $\frac{g\,NH_3-N}{gO_2}$ برای این منظور انتخاب می‌شود(۱۸). مقادیر نرخ فرآیندهای نیترات زدایی (K_6) در دامنه ۰/۰۵ تا ۰/۳ قرار دارد. مقادیر گزارش شده برای ثابت دمایی تجزیه مواد آلی (θ_3) دارای دامنه ۱/۰۲ تا ۱/۰۹ است و مقدار متعارف آن ۱/۰۷ است(۱۸). بنابراین با توجه به نتایج کالیبراسیون، ملاحظه می گردد که تمامی پارامترها در دامنه مناسب و مطابق با دیگر تحقیقات در دنیا قرار دارد.

پس از کالیبراسیون مدل، اقدام به صحت سنجی مدل های کیفی شد و مدل کیفی با استفاده از داده های کیفی آب در رو به روی کانال C3 مورد واسنجی قرار گرفت. درصد خطای محاسبه شده برای پارامترهای اکسیژن محلول، دما، آمونیاک و نیترات به ترتیب برابر ۱۲، ۱/۲، ۰/۷۹ و ۰/۳۴ محاسبه گردید. همان طور که مشاهده می شود رفتار مدل کیفی برای پارامترهای دما، آمونیاک و نیترات بیانگر انجام مدل سازی مناسب می باشد. در شکل های ۶ تا ۹ به ترتیب میانگین تغییرات پارامترهای اکسیژن محلول، دما، آمونیاک و نیترات در طول رودخانه بهمنشیر از ایستگاه طره بخاح تا دهانه بهمنشیر ارایه شده است. همان طور که ملاحظه می شود مقدار میانگین پارامترهای اکسیژن محلول، دما، آمونیاک و نیترات در رودخانه بهمنشیر در دوره زمانی مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۲/۲ ppm، ۲۸ سانتی گراد، ۱/۲ ppm و ۱۱ ppm بودند.



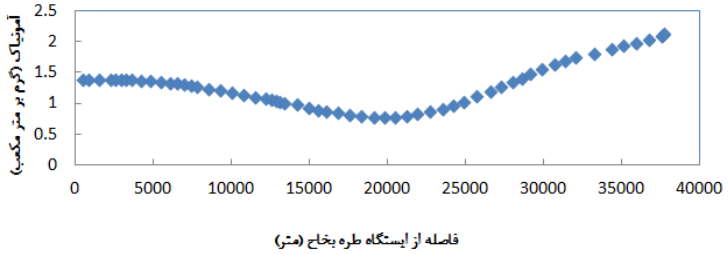
شکل ۶- میانگین تغییرات اکسیژن محلول در طول رودخانه بهمنشیر

Figure 6- DO change along the Bahmanshir River



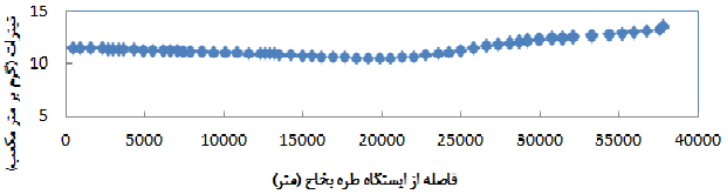
شکل۷- میانگین تغییرات دما در طول رودخانه بهمنشیر

Figure 7- Temperature change along the Bahmanshir River



شکل ۸- میانگین تغییرات آمونیاک در طول رودخانه بهمنشیر

Figure 8- Ammonia change along the Bahmanshir River



شکل۹- میانگین تغییرات نیترات در طول رودخانه بهمنشیر

Figure 9- Nitrate change along the Bahmanshir River

مشابه روش به کار برده شده برای محاسبه شوری در کانال ها، اقدام به تعیین ضرایب تبدیل برای پارامترهای کیفی مختلف شد. ضرایب تبدیل کانال های آب رسان برای پارامترهای اکسیژن محلول، آمونیاک و نیترات به ترتیب برابر با ۱/۳۷، ۱/۶۹ و۰/۴ محاسبه گردید. ضریب محاسبه شده برای اکسیژن محلول بسیار شبیه پارامتر شوری است و همان طور که از ضرایب پیداست میزان آمونیاک در کانال ها نسبت به رودخانه بهمنشیر بیش تر بوده و این شرایط برای پارامتر نیترات به صورت عکس برقرار است. نظر به این که کانال ها از رفتار مشابهی برخوردار هستند، لذا این ضرایب قابل استفاده برای کانال های C3 و C4 نیز است. بنابراین با ضرب کردن اعداد ۱/۳۷، ۰/۹۱، ۱/۶۹ و۰/۴ به ترتیب در مقدار اکسیژن محلول، دما، آمونیاک و نیترات در رو به روی هر کانال (داخل رودخانه بهمنشیر) میزان این پارامترها در داخل هر کانال که به صورت اختلاط کامل است محاسبه می‌شود. با میانگین گیری از سری های زمانی ، مقادیر متوسط پارامترهای اکسیژن محلول، دما، آمونیاک و نیترات در کانال های C3 تا C5 محاسبه می‌شود. این مقادیر در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱-مقدار اکسیژن محلول، دما، آمونیاک و نیترات در کانال های آب رسان

Table 1- DO, Temperature, Ammonia and Nitrate in Channels

کانال	اکسیژن محلول (ppm)	دما (°C)	آمونیاک (ppm)	نیترات (ppm)
C3	۳/۱	۲۶	۳/۱۷	۵
C4	۳/۱۳	۲۶	۳/۲۷	۵/۲
C5	۲/۷	۲۷	۲/۳	۴/۲

همان طور که در گذشته ذکر گردید آب رودخانه کارون از طریق پمپاژ از ایستگاه منیخ وارد رودخانه بهمنشیر می شود که پمپ ها در مجموع می توانند تا دبی ۱۲۰ مترمکعب بر ثانیه آب شیرین وارد رودخانه بهمنشیر کنند در جدول ۲ متوسط تغییرات شوری و سایر پارامترهای کیفی آب در کل رودخانه تحت شرایط مختلف دبی ارایه گردیده است. مطابق با جدول ۲، هرچقدر دبی آب شیرین در بالادست افزایش یافته است میزان شوری و به عبارت دیگر اثر نفوذ شوری ناشی از جزر و مد خلیج

فارس در رودخانه بهمنشیر کاهش می یابد با بررسی سایر پارامترهای کیفی نظیر نیترات، آمونیاک و اکسیژن محلول ملاحظه می گردد با افزایش دبی، میزان آمونیاک و نیترات افزایش و میزان اکسیژن محلول کاهش می یابد که این امر نشان دهنده نقش ترقیق کننده آب خلیج فارس برای رودخانه بهمنشیر و در نتیجه کانال های آب رسان مجتمع پرورش میگو می باشد.

به منظور کنترل کیفیت روخانه بهمنشیر و کانال های آب رسان دو اقدام عملی بایستی به طور همزمان اعمال گردد که شامل افزایش دبی آب شیرین در بالادست رودخانه به منظور کاهش نفوذ شوری و دیگری کنترل و مدیریت آلاینده های ورودی در بالادست و همچنین در طول رودخانه می باشد..

جدول ۲-تاثیر دبی بالا دست بر روی پارامترهای کیفی رودخانه بهمنشیر

Table 2- effect of upstream flow rate on quality parameters

دبی بالا دست (مترمکعب بر ثانیه)	شوری (ppm)	نیترات (ppm)	آمونیاک (ppm)	اکسیژن محلول (ppm)
۰	۶۹۹۷	۱۱/۵۷	۱/۲۵	۲/۲۷
۱۵	۵۸۷۱	۱۱/۶۳	۱/۲۷	۲/۲۴
۳۰	۵۲۹۱	۱۱/۶۸	۱/۲۹	۲/۲۲
۶۰	۴۵۱۳	۱۱/۷۷	۱/۳۳	۲/۱۸
۹۰	۳۹۷۹	۱۱/۸۰	۱/۳۷	۲/۱۵
۱۲۰	۳۶۱۴	۱۱/۸۲	۱/۳۹	۲/۱۳

نتیجه گیری

طی مدل سازی هیدرولیکی، نتایج بیانگر مناسب بودن مدل MIKE11، در مدل سازی هیدرولیکی تحت شرایط جزر و مدی می‌باشد. ضریب مانینگ بهینه رودخانه بهمنشیر برابر ۰/۰۱۸ تعیین شد. نتایج مدل سازی نشان داد که مدل شوری ایجاد شده با دقت مطلوبی میتواند شرایط شوری رودخانه بهمنشیر را بیان کند. ضریب پخش بهینه رودخانه بهمنشیر برابر ۲۵۰۰V تعیین و محدوده ی این ضریب در بازه ی ۱ الی ۵۰ مترمربع بر ثانیه محاسبه و مقدار متوسط غلظت شوری در کل رودخانه بهمنشیر حدود ۵۳۰۰ ppm تعیین شد. از طرفی مشخص شد که عملکرد کانال های آب رسان، به صورت یک راکتور اختلاط کامل است و بر این اساس با محاسبه ضریب تبدیل غلظت رودخانه به کانال های آب رسان، غلظت شوری در کانال ها محاسبه و مقدار متوسط غلظت شوری کانال ها حدود ۲۷۰۰۰ ppm تخمین زده شد.

به منظور مدل سازی پارامترهای اکسیژن محلول، دما، آمونیاک، نیترات و BOD با استفاده از زیربرنامه ECOLAB در نرم افزار MIKE11 ابتدا آنالیز حساسیت روی ضرایب مدل انجام شد و ضرایب مهم برای کالیبراسیون تعیین شدند. این ضرایب شامل نسبت آمونیاک آزاد شده به ازای تجزیه BOD، ثابت نیمه اشباع اکسیژن، نرخ واکنش مصرف BOD، نرخ نیترات زدایی و ضریب دمایی آرنیوس برای تجزیه BOD و همچنین نیترات زدایی بوده و مقادیر کالیبره شده ی این ضرایب به ترتیب عبارتند از ۰/۳($\frac{g\ NH_4}{g\ BOD}$)، ۲۰ ($\frac{mg}{l}$)، ۱/۳۵($\frac{1}{d}$)، ۰/۰۶ ($\frac{1}{d}$)، ۱/۰۵ و ۱. مدل پس از کالیبراسیون مورد صحت سنجی قرار گرفت که این مرحله با دقت مناسبی، کارایی مدل را تایید کرد و نشان داد که نرم افزار MIKE11 در مدل سازی کیفی نیز توانمند است. مقدار میانگین پارامترهای اکسیژن محلول، دما، آمونیاک و نیترات در رودخانه بهمنشیر در دوره زمانی مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۲/۲ ppm، ۲۸ درجه سانتی گراد، ۱/۲ ppm و ۱۱ ppm بودند. همچنین با توجه به شرایط اختلاط کامل در کانال های آب رسان، ضرایب تبدیل و غلظت پارامترهای کیفی مختلف در کانال ها تعیین شد و در آخر، بهترین راه کار برای مدیریت کیفی رودخانه بهمنشیر، کنترل آلاینده های ورودی و همچنین افزایش دبی پمپاژ آب در بالادست این رودخانه می باشد.

منابع

۱- آذری، اردوان. « مبانی زهکشی در اراضی جزر و مدی جزیره آبادان (مطالعه موردی در ساحل

رودخانه بهمنشیر)». چهارمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست،۱۳۸۵، تهران، ایران.

2- SWECO-MAHAB, 1976. Abadan Island and Khorramshahr water supply and irrigation project hydraulic condition and salt water mathematical model studies. Prepared for Khuzestan water and power Organization, Technical Report.

3- Harleman D. R.F. 1966. Salinity intrusion in estuaries in: Ippen. A.T. (ed.), Estuary and costline hydrodynamics. McGrawHill, pp.598-629.

۴- مظاهری، سعید. « بررسی رفتار هیدرولیکی رودخانه بهمنشیر توسط مدل ریاضی MIKE11 » مهندسین مشاور سازه پردازی ایران، ۱۳۷۵.

۵- مهندسین مشاور سازه پردازی ایران، « مطالعات هیدرولیک (پروژه مدلهای ریاضی و فیزیکی رودخانه بهمنشیر) » گزارش سوم، وزارت جهاد سازندگی،۱۳۷۶ الف.

۶- مهندسین مشاور سازه پردازی ایران،« مطالعات شوری (پرژه مدلهای ریاضی و فیزیکی رودخانه بهمنشیر) ». گزارش دوم، وزارت جهاد سازندگی،۱۳۷۶ ب.

۷- مهندسین مشاور سازه پردازی ایران. « مطالعات مرحله شناخت پرورش میگو شرق بهمنشیر». گزارش نهایی، وزارت جهاد کشاورزی، اداره کل شیلات خوزستان، ۱۳۸۰.

۸- تولائی نژاد، محمود.، میری، محمد علی.، لوافیان نژاد، بهرام.، رنگزن، کاظم. «شناسائی آلاینده های کیفی در مصب رودخانه کارون بزرگ و ارایه راه حلهای مدیریتی در جهت بهبود کیفیت آن ». هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، ۱۳۸۵، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

۹- سامانی، ح. م. و. « مدل ریاضی تحلیلی یک بعدی انتقال و انتشار شوری در رودخانه ها با در نظر گرفتن شرایط جزر و مدی دریا». محیط شناسی، ۱۳۸۱، شماره ۳۱، ص۳۷.

۱۰- جعفرزاده حقیقی، نعمت. اله.، توسلی، محمد.، باروتکوب، علی. « بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه کارون با کاربرد برنامه Qual2E ». تحقیقات منابع ایران، ۱۳۸۴، سال یکم، شماره ۲، ص ۸۵ تا ۹۶.

11- Parsa, J., Etemad-Shahidi A., Hosseiny S. Yeganeh-Bakhtiary A., 2007. Evaluation of computer and empirical models for prediction of salinity intrusion in the Bahmanshir estuary. Journal of Coastal Research, Vol. 50, pp. 658-662.

12- Van Der Burgh, p., 1972. Ontwikkeling Van een Methods Voor het Voorspellen van Zoutverde-Lingen in Estuaria. Kanalen en Zeeen. Rijkswaterstaat Report, pp. 10-72.

۱۳- وهابیان، م. سامانی، ح. م. و. « مدل ریاضی – عددی یک بعدی انتقال و انتشار شوری در رودخانه شاخه ای کارون، بهمنشیر و حفار با در نظر گرفتن شرایط جزر ومدی» سومین کنفرانس مدیریت منابع آب،۱۳۸۷، ۲۳-۲۵مهر، دانشگاه تبریز، تبریز.

۱۴- فعال، زینب. « بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه بهمنشیر » مجله علمی شیلات ایران، ۱۳۸۸، سال هجدهم، شماره ۱، ص ۱۶۷ - ۱۷۲.

۱۵- هوشمند، حسین.، سید مرتضایی، سید. رضا.، آهنگرزاده، مینا. « بررسی کیفیت باکتریایی آب رودخانه بهمنشیر و استخرهای پرورش میگوی منطقه چوئبده – آبادان » مجله دامپزشکی ایران،۱۳۸۸، دوره پنجم، شماره ۴، ص ۵۲ - ۵۸.

۱۶- مهندسین مشاور دز آب. « طرح تعیین حریم و بستر رودخانه های کارون، اروند و بهمنشیر ». مطالعات هیدرولیک رودخانه و فرسایش و رسوب، قسمت الف (گزارش اصلاحی نهایی)، سازمان آب و برق خوزستان، جلد ششم، ۱۳۸۹.

۱۷- ابریشمی، جلیل. و حسینی، سید محمود. « هیدرولیک کانال های باز»، انتشارات دانشگاه امام رضا،۱۳۷۶.

18- DHI, 2007. MIKE11 Reference Manual. DHI Software.

19- Doulgeris, C., Georgiou, P., Papadimos, D., Papamichail, D., 2012. Ecosystem approach to water resources management using the MIKE 11 modeling system in the Strymonas River and Lake Kerkini. Journal of environmental management, Vol. 94(1), pp. 132-143.

20- Cox, B. A., 2003. A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. Science of the Total Environment, Vol. 314, pp. 335-377.

21- Thompsona, J.R.; Refstrup Sørensonb, H.; Gavina, H.; Refsgaardb, A., 2004. Application of the coupled MIKE SHE/MIKE 11 modelling system to lowland wet grassland in southeast England. Journal of Hydrology, Vol. 293, pp. 151–179.

22- Le Ngo, L., Madsen, H., Rosbjerg, D., PEDERSEN, C., 2005. Application of MIKE 11 in managing reservoir operation. International Conference on Reservoir Operation and River Management Guangzhou & Three Gorges, China, September 17-23.

23- Water Quality Institute, 1984. Biological degradation of waste water in recipient Water (In Danish: Biologisk Nedbrydning af Spildevand i Havvand). Report to Sukkerfabriken Nykøbing, Denmark.

24- Nyholm, N., Bach, H., Birkelund, J., Jensen, T. L., Kusk, K. O., Schleicher, O. and Schrøder, H., 1991. Environmental studies of a marine wastewater discharge from a sulphite Pulp-Mill example of a general study approach for marine industrial discharges. Water Science & Technology. Vol. 23, pp. 151-161.