



شبیه‌سازی عددی سه بعدی تأثیر جهت باد بر الگوهای چرخشی و شوری جریان در دریاچه ارومیه

محمد همتی^۱، حجت احمدی^۲، سجاد احمد حمیدی^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۱/۳۱

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۶/۰۴

مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی پژوهشکده دریاچه ارومیه

چکیده

در سال‌های اخیر، به دلیل مدیریت ضعیف منابع آب، افزایش زمینهای کشاورزی و احداث بیش از حد سد بر روی رودخانه‌های تغذیه کننده دریاچه، دریاچه ارومیه با بحران زیست محیطی مواجه شده است. در این تحقیق مدل سه بعدی (Mike 3 flow model) (FM) برای بررسی تأثیر جهت باد و احداث میانگذر بر روی چرخش جریان و توزیع شوری در لایه‌های مختلف، بکار برده شد. به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل از داده‌های شوری اندازه‌گیری شده در دو عمق متفاوت (نزدیک سطح آب و بستر) و در موقعیت‌های مختلف دریاچه استفاده گردید. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که سرعت و جهت باد از پارامترهای مهمی است که نقش اساسی را در الگوهای چرخشی جریان به ویژه در لایه سطحی آب و توزیع شوری دریاچه در هر دو حالت با و بدون میانگذر دارد. علاوه بر آن، نتایج سه‌بعدی شبیه‌سازی نشان داد که به دلیل جهت باد و وجود میانگذر، جهت جریان و توزیع شوری در لایه‌های سطحی و نزدیک بستر متفاوت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان، تراز آب، جریان‌های لایه‌ای، دریاچه ارومیه، MIKE3.

^۱ دانشیار گروه مهندسی آب، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، ۰۹۱۴۳۸۸۴۴۷۳، m.hemmati@urmia.ac.ir (نویسنده

مسؤل)

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، hojjat.a@gmail.com

^۳ استادیار گروه فیزیک دانشگاه ایندیانا، پنسیلوانیا، آمریکا، shamidi@iup.edu

مقدمه

دریاچه ارومیه بعد از بحرالمت، دومین دریاچه شور جهان به حساب می‌آید. متأسفانه به دلایل مختلف طبیعی و انسانی، سطح این دریاچه در دهه‌های اخیر کاهش یافته و در حال خشک شدن می‌باشد و میزان شوری دریاچه نیز از ۲۰۰-۳۰۰ گرم در لیتر به ۴۰۰ گرم در لیتر رسیده است (شرکت طرح نواندیشان، ۱۳۸۳ و محمدی، ۱۳۸۱). به دلیل کاهش ورودی آب از رودخانه‌های منتهی به دریاچه و افزایش تبخیر از سطح دریاچه، حجم و تراز آب دریاچه به شدت کاهش یافته است. مشاهدات میدانی دریاچه نشان می‌دهد که میزان شوری در بخش شمالی دریاچه بسیار بیشتر از بخش جنوبی آن می‌باشد که برخی محققان احداث میانگذر را دلیل اصلی آن می‌دانند (پیرانی، ۱۳۹۵). علاوه بر آن باد نیز نقش بسیار مهمی در الگوهای چرخشی جریان ایجاد می‌کند (Zeinoddini et al., 2009). دامن افشان، ۱۳۹۰ و پیرانی، ۱۳۹۵). وجود میانگذر نیز منجر به کاهش اختلاط طبیعی آب بین دو قسمت دریاچه شده است (مهندسین مشاور آب نیرو، ۱۳۷۳ و پیرانی، ۱۳۹۵).

اولین گام در راستای شناخت مجموعه عوامل تأثیرگذار بر شرایط موجود دریاچه، بررسی و شناخت بیشتر الگوی جریان است. در این میان ساخت میانگذر شهید کلانتری می‌تواند عواملی در افزایش شوری دریاچه و تفاوت مقدار شوری بخش شمال و بخش جنوب باشد (توفیقی، ۱۳۸۴). افزایش شوری دریاچه نیز عوارض جانبی بر روی جمعیت آرتمیا و اکوسیستم منطقه به همراه خواهد داشت (Zeinoddini et al., 2013). لذا مطالعه الگوی جریان و پراکنش شوری در دریاچه امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. در این راستا مطالعاتی نیز در زمینه هیدرودینامیک و شوری دریاچه صورت گرفته است (Zeinoddini et al., 2014; Talebizadeh and Moridnejad 2011; Karbassi et al. 2010; Zeinoddini et al. 2009; Marjani and Jamali 2008; Shafieefar 2005; توفیقی،

۱۳۸۴؛ مرجانی، ۱۳۸۶؛ شرکت طرح نو اندیشان، ۱۳۸۳؛ شرکت صدرا، ۱۳۸۳ و مهندسین مشاور آب نیرو، ۱۳۷۳). نرم‌افزار MIKE3 قابلیت بیشتری در شبیه‌سازی شوری در دریاچه‌ها دارد. نتایج تحقیق (پیرانی، ۱۳۹۵) نشان داد که مدل MIKE3 قابلیت پیش‌بینی شوری دریاچه و جریان‌های لایه‌ای را در دریاچه ارومیه دارد و نتایج شبیه‌سازی تطابق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده شوری در عمق‌های مختلف آب دارد.

در مطالعات قبلی انجام گرفته بر روی دریاچه ارومیه، برخی ساده‌سازی‌هایی انجام گرفته است که ممکن است نتایج آنها با رفتار فیزیکی دریاچه ارومیه در تطابق کامل نباشد. از جمله مطالعه‌ای که شرکت مشاور آب نیرو (۱۳۷۳) انجام داده است، جریان‌های لایه‌ای را در دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار نداده است. با اینکه این نقیصه در مطالعات توفیقی (۱۳۸۴) و (Zeinoddini et al., 2009) برطرف شد اما به نظر می‌رسد که جریان‌های لایه‌ای در این مطالعات هم دارای ایراد باشد. زیرا در نسخه قدیمی MIKE3 در سال ۲۰۰۴ محدوده شوری در نظر گرفته شده در آن (۰/۹۹۲ تا ۱/۰۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) کمتر از مقدار مربوط به دریاچه ارومیه (۱/۱۶۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب) می‌باشد. این نقص در نسخه ۲۰۱۷ آن بطور کامل برطرف شد و مدل محدوده بیشتری از شوری را می‌تواند شبیه‌سازی کند. علاوه بر آن برخی محققان از جمله مرجانی (۱۳۸۶) آب رودخانه‌های ورودی به دریاچه ارومیه را شیرین فرض کرده و میزان تبخیر از روی سطح دریاچه را به یک میزان لحاظ کرده است که نتایج مدلسازی را با خطا مواجه می‌نماید.

بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که در بیشتر مطالعات صورت گرفته، صحت سنجی و واسنجی مدل‌ها به درستی انجام نشده است و بسی‌تری دقیقی از بستر دریاچه جهت ارائه به مدل وجود نداشته است. همچنین به نظر می‌رسد که با توجه به تفاوت سطح دو بخش شمالی و جنوبی، عدم وجود اطلاعات میدانی کافی و توپوگرافی دقیق کف دریاچه جهت ارائه به مدل و شیرین نبودن آب برخی رودخانه‌های

دانمارک (DHI) تهیه شده است. این مدل به منظور گسسته-سازی معادلات از روش حجم محدود میان سلولی و مشهای منعطف بی ساختار مثلثی و مستطیلی که بیشترین تناسب تراکم پذیری با دامنه حل را دارند، استفاده می کند (DHI, MIKE 3 FLOW MODEL FM، بر اساس حل عددی معادلات ناویر-استوکس حاصل از میانگین زمانی رینولدز و در نظر گرفتن فرضیات بوزینسک و فشار هیدرواستاتیک برای سیال غیر قابل تراکم بنا نهاده شده است. مدل هیدرودینامیکی شامل معادلات پیوستگی، مومنتم، انتقال شوری و دما می باشد که در ذیل به آنها اشاره می شود:

معادله پیوستگی

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (1)$$

معادلات مومنتم

معادلات مومنتم در دو بعد X و Y بترتیب در

ذیل ارائه شده است:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(v^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \quad (3)$$

که در آن t : زمان، x, y, z : مؤلفه های مختصات دکارتی، η : ارتفاع سطح آب، d : عمق ثابت آب، $h = \eta + d$: کل عمق آب، u, v, w : سرعت جریان به ترتیب در راستای x, y, z . $f = 2\Omega \sin \phi$: نیروی کوریولیس که بیانگر اثر گردش زمین است. (Ω : نسبت زاویه حرکت چرخشی زمین، ϕ : عرض جغرافیایی منطقه)، g : شتاب گرانشی زمین، ρ : چگالی آب،

منتهی به دریاچه، این فرضیات خطاهایی را در مدل سازی ایجاد می کنند. لذا تحقیق حاضر در نظر دارد مشکلاتی که در مطالعات مشابه گذشته مطرح شده است را تا حد امکان برطرف نماید و از طرفی سعی بر آن است که با جمع آوری اطلاعات میدانی دقیق تر، مدل سازی برای سالی که کامل ترین مجموعه داده های میدانی در اختیار باشد، صورت گیرد. علاوه بر آن، با اینکه بیشتر محققان گزارش داده اند که عامل مهم و تأثیرگذار بر جهت جریان و الگوهای چرخشی آب در دریاچه ارومیه، باد و میزان دبی ورودی از رودخانه ها می باشد، اما مطالعه ای که تأثیر باد و وجود میانگذر را بر الگوهای چرخشی جریان با جزئیات دقیق تر و در لایه های مختلف جریان بررسی کند، بسیار کمیاب می باشد. لذا هدف تحقیق حاضر بررسی تأثیر جهت باد و احداث میان گذر بر الگوهای چرخشی جریان در پهنه آبی دریاچه می باشد.

مواد و روش ها

دریاچه ارومیه با مساحت تقریبی ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلومترمربع با ارتفاع متوسط ۱۲۷۵/۶ متر از سطح دریاهای آزاد یکی از بلندترین و پرآب ترین دریاچه های داخلی و دائمی کشور و بیستمین دریاچه جهان به لحاظ وسعت می باشد که در شمال غربی ایران و ما بین دو استان آذربایجان شرقی و غربی (۲۴ کیلومتری شرق ارومیه) می باشد. این دریاچه بین عرض ۳۸ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۷ درجه شمالی و ۴۵ درجه و طول ۵۵ دقیقه تا ۴۴ ثانیه و ۵۵ دقیقه شرقی قرار گرفته است که محور شمالی-جنوبی آن در حدود ۳۰ درجه (در جهت مثلثاتی) نسبت به مدار نصف النهار منحرف می باشد. حجم متوسط آن بین ۱۲ الی ۳۳ میلیارد مترمکعب در زمان های کم آبی و پرآبی تخمین زده می شود (توفیقی، ۱۳۸۴). وجود میانگذر، دریاچه را به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم کرده است (شکل ۱).

مدل عددی MIKE 3 FLOW MODEL FM از بسته نرم افزاری MIKE ZERO توسط مؤسسه هیدرولیک

مترمربع در اطراف میانگذر، حداکثر مساحت ۳ میلیون مترمربع معادل ۳ کیلومترمربع برای بقیه پهنه دریاچه و از مش‌های چهار وجهی منعطف با تراکم بالا با ابعاد ۲۰۰ در ۲۰۰ متر در مسیر بازشوی موجود استفاده گردید. جهت ساخت شرایط اولیه هیدرولیکی جریان، مدل هیدرودینامیکی به صورت cold start اجرا گردید. پس از رسیدن سرعت جریان به همگرایی، اجرای مدل قطع گردید و آن گام زمانی به عنوان گام اولیه هیدرولیکی در روز اول (September) سال ۲۰۰۴ به مدل معرفی شد. شرط اولیه شوری نیز با توجه به داده‌های برداشت شده شوری دریاچه توسط پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه در طی سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ در دو عمق مختلف (نزدیک سطح آب و نزدیک بستر) و در نقاط مختلف دریاچه در مدل لحاظ گردید. سپس گام زمانی ۴۵ ثانیه برای اجرای مدل انتخاب گردید.

پس از تحلیل حساسیت پارامترهای جریان، به منظور تطبیق بهتر نتایج مدل با داده‌های میدانی، مقدار هر پارامتر در گستره معقولی از محدوده مجاز تغییرات، انتخاب می‌شود و مدل برای یک دوره‌ی زمانی اجرا می‌گردد. پس از آن، مدل برای دوره زمانی دیگر اجرا و نتایج مدل با داده‌های میدانی در آن دوره مقایسه و میزان خطای مدل در پیش‌بینی نتایج، تعیین می‌شود (Hansen et al., 2001). در این تحقیق مقدار شوری آب دریاچه در دو لایه سطح و کف مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفت. همچنین ضریب اصطکاک باد به صورت ثابت یا متناسب با سرعت باد تعیین گردید. حد بالای این ضریب مقدار ۰/۰۰۲۶ برای سرعت‌های باد بالای m/s ۳۰ می‌باشد. در عین حال نرم‌افزار تا مقدار ۰/۰۰۵ را نیز می‌پذیرد. در نهایت تراز سطح آب بدست آمده از نتایج مدل‌سازی با مقادیر میدانی مقایسه گردید. جدول ۱ مقادیر مربوط به RMSE و NRMSE را برای داده‌های پیش‌بینی شده شوری توسط مدل و اندازه‌گیری شده در دو لایه سطحی و کف بستر نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد مقدار NRMSE کمتر از ۱۰ درصد بوده که حاکی از قابل

انتقال شوری در مدل نیز بصورت رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$: تانسورهای تنش انعکاسی، v_i : لزجت گردابه‌ای (آشفتنگی) عمودی، P_a : فشار اتمسفر، ρ_0 : چگالی مرجع آب، S : مقدار دبی منبع نقطه‌ای^۴، v_s, u_s : سرعت جریان آب ناشی از منبع نقطه‌ای در راستای x و y . F_u, F_v : ترم‌های تنش افقی جریان هستند.

معادله انتقال شوری در مدل نیز بصورت رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial(us)}{\partial x} + \frac{\partial(vs)}{\partial y} + \frac{\partial(ws)}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} (D_v \frac{\partial s}{\partial z}) + \hat{H} + S_s S \quad (4)$$

که در آن D_v : ضریب انتشار^۵ گردابه‌ای در راستای قائم، \hat{H} : مؤلفه منبع ناشی از تغییرات حرارتی اتمسفر، S_s : شوری منبع نقطه‌ای، F_s : مؤلفه انتشار افقی شوری می‌باشد. با توجه به اینکه اطلاعات اندازه‌گیری دما از دریاچه و رودخانه‌ها موجود نبود؛ لذا شبیه‌سازی دمایی صورت نگرفته است.

در این تحقیق سال آبی ۱۳۸۳-۱۳۸۴ بعنوان سالی که کاملترین مجموعه اطلاعات آماری و داده‌های شوری اندازه‌گیری شده دریاچه در دو عمق مختلف از آب (۰/۵ متر زیر سطح آب و ۰/۵ متر بالای بستر) و در نقاط مختلف دریاچه در اختیار بود، جهت مدل‌سازی دریاچه انتخاب شد. همچنین بررسی‌های آماری در این سال همخوانی بین داده‌های ورودی و خروجی با تراز سطح آب که یکی از معیارهای انتخاب دوره مدل‌سازی است را نشان می‌دهد (شرکت طرح نواندیش، ۱۳۸۳). ورودی‌های مدل شامل داده‌های هواشناسی (تبخیر، بارش، تغییرات زمانی سرعت و جهت باد)، هیدرولوژی (دبی رودخانه‌های منتهی به دریاچه، تراز آب دریاچه)، کیفی (میزان شوری در نقاط و اعماق مختلف از دریاچه) و بسی-متری می‌باشد.

منظور شبکه‌بندی محدوده از ترکیب دو مش مثلثی و چهار وجهی از نوع منعطف در سطح و ۱۰ لایه از نوع سیگما در عمق استفاده شده است. در این نوع شبکه‌بندی از مش‌های مثلثی با حداکثر مساحت ۵۰ هزار مترمربع و ۵۰۰ هزار

^۴- Dispersion

^۵-Source

قبول بودن نتایج شبیه‌سازی مدل در پیش‌بینی رفتار دریاچه هم در مرحله واسنجی و هم در مرحله صحت‌سنجی می‌باشد.



شکل (۱): دریاچه ارومیه و موقعیت میانگذر و پل موجود بر روی آن

جدول (۱): نتایج آماری بین داده‌های شوری شبیه‌سازی شده توسط مدل و اندازه‌گیری شده

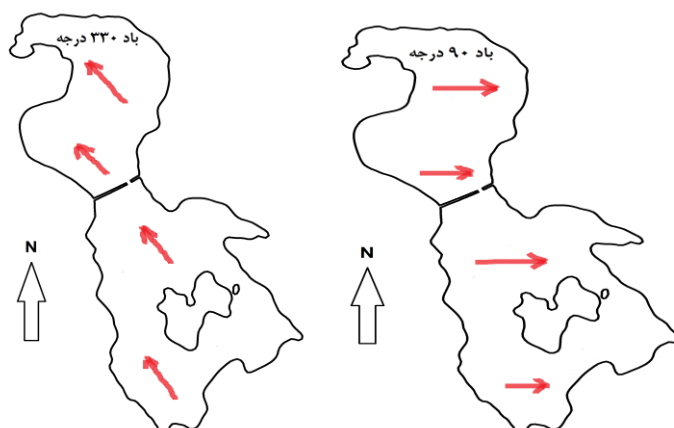
مرحله صحت‌سنجی		مرحله واسنجی		لایه
NRMSE (%)	RMSE (PSU)	NRMSE (%)	RMSE (PSU)	
۹/۴	۲۳/۶	۵/۲	۱۳/۴	سطحی
۹/۸	۲۷	۲/۹	۷/۷۵	بستر

چرخشی جریان در حالت‌های بدون میانگذر و با وجود میانگذر فعلی پرداخته شده است. دلیل انتخاب جهت‌های باد این است که سعی گردید بادهایی که جهت آن موازی و عمود بر میانگذر بوده و دارای سرعت قابل توجهی نیز می‌باشند مورد بررسی قرار گیرند. این بررسی‌ها در سه لایه نزدیک بستر، لایه میانی و لایه نزدیک سطح آب صورت گرفته است (شکل‌های ۳ تا ۵).

نتایج و بحث

تأثیر جهت باد بر الگوهای چرخشی جریان

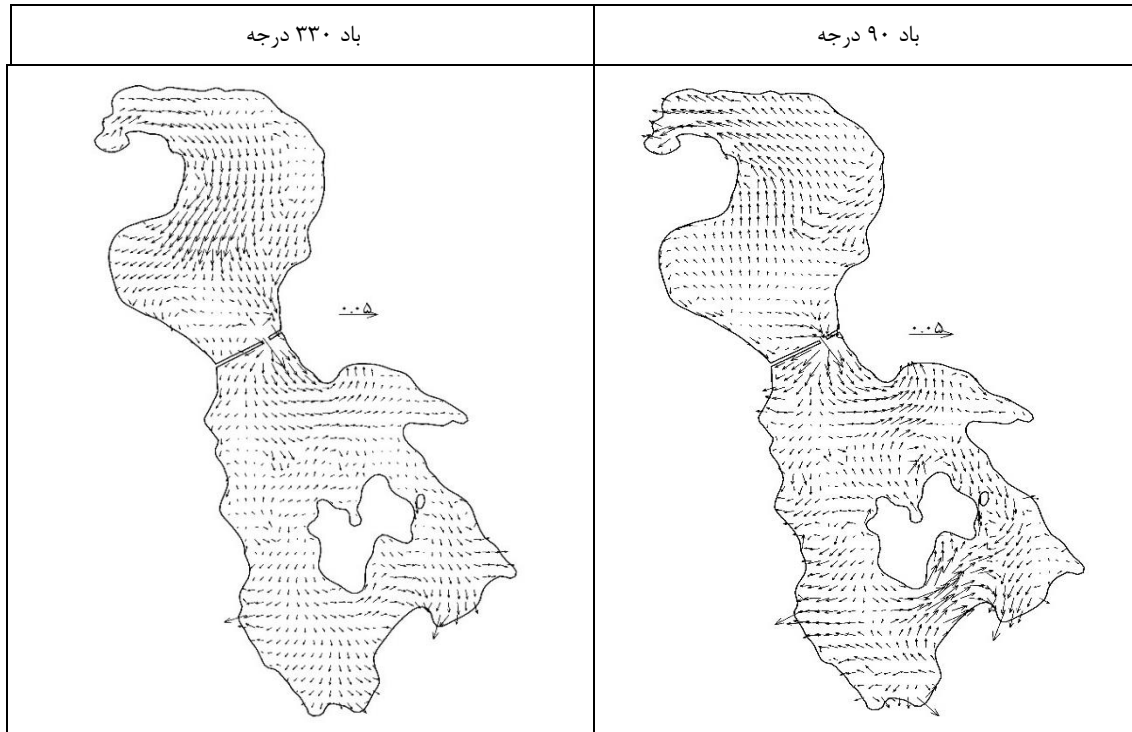
در این بخش به بررسی تأثیر جهت وزش باد ۹۰ درجه با سرعت ۳/۷۱ متر بر ثانیه که از غرب به شرق دریاچه می‌وزد و باد ۳۳۰ درجه با سرعت ۶/۱۱ متر بر ثانیه که از سمت جنوب به شمال دریاچه می‌وزد (شکل ۲)، بر الگوهای



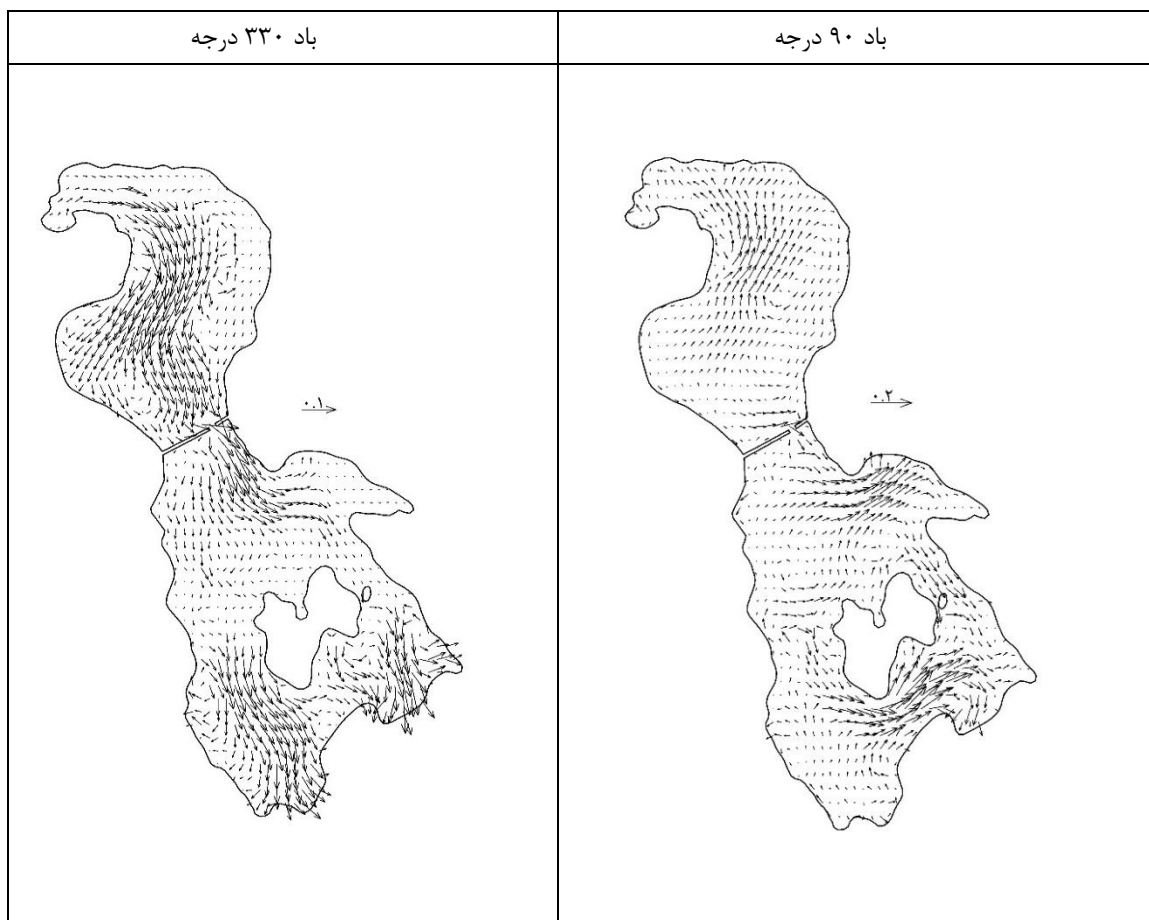
شکل (۲): جهت وزش بادهای ۹۰ و ۳۳۰ درجه بر روی پهنه آبی دریاچه

بر روی الگوهای چرخشی جریان در پهنه آبی دریاچه دارد. همچنین قابل ذکر است که جهت جریان در لایه‌های مختلف عمقی نیز متفاوت می‌باشد. به عبارتی دیگر در باد ۹۰ درجه، جریان در لایه‌های پایینی از سمت جنوب به شمال و در لایه سطحی از شمال به جنوب است و در باد ۳۳۰ درجه در لایه نزدیک بستر جریان از شمال به جنوب و در لایه سطحی از جنوب به شمال می‌باشد (شکل‌های ۳، ۴ و ۵). جهت مختلف وزش باد، الگوهای متفاوتی را از چرخش جریان در دریاچه ایجاد می‌نماید که در نتیجه آن، انتظار می‌رود تبادل آب بین دو بخش شمالی و جنوبی دریاچه و همچنین توزیع شوری در دریاچه تحت تأثیر قرار گیرد.

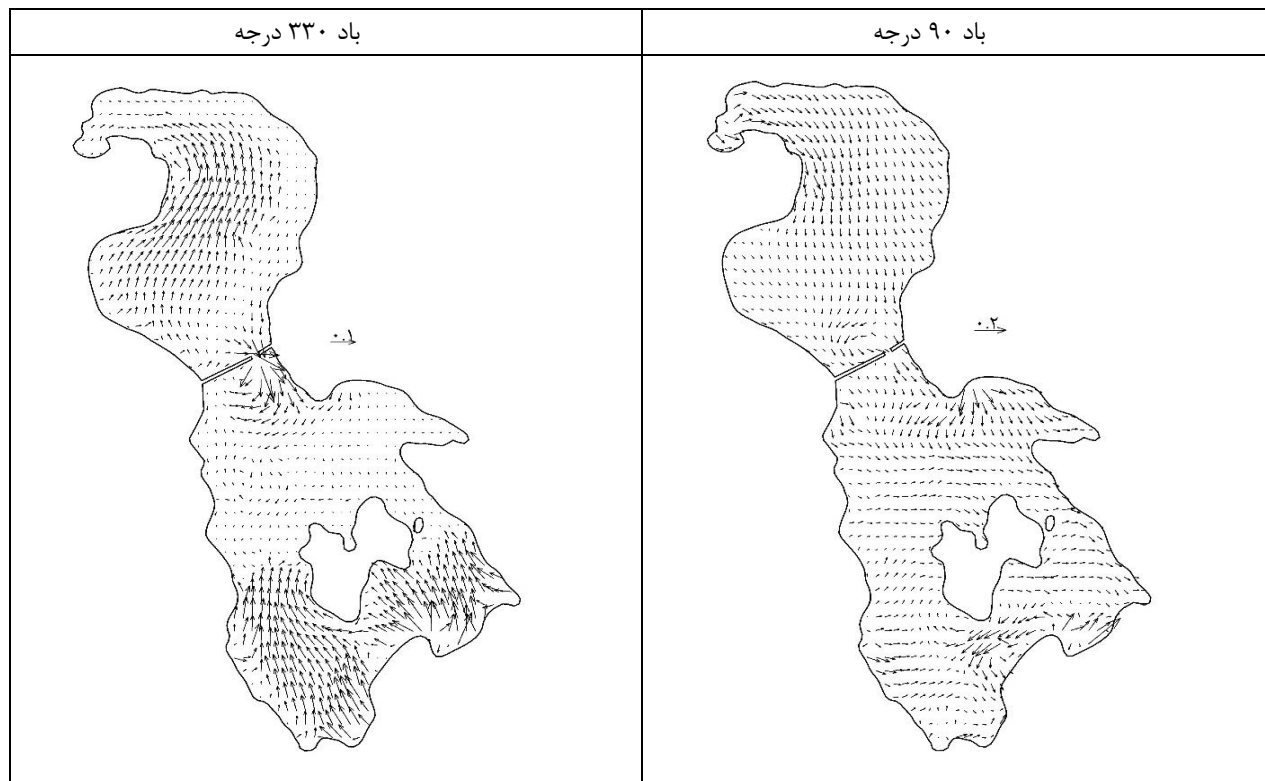
برای وضع موجود (با وجود میانگذر)، جهت باد تأثیر قابل توجهی در الگوهای چرخشی جریان ایجاد نموده است. در لایه نزدیک بستر و در بخش شمالی دریاچه، برای باد ۹۰ درجه، جهت جریان به سمت شمال بوده و برای باد ۳۳۰ درجه، جهت جریان به سمت جنوب می‌باشد. اما در بخش جنوبی و میانگذر دریاچه تفاوت چندان در الگوهای چرخشی جریان در دو جهت باد ملاحظه نمی‌شود (شکل ۳). این روند برای لایه میانی نیز تقریباً مشابه لایه نزدیک بستر است (شکل ۴). در لایه سطحی (نزدیک سطح آب) برای هر دو سمت وزش باد، الگوی چرخشی جریان متفاوت از لایه‌های نزدیک بستر و لایه میانی می‌باشد؛ بطوریکه در باد ۹۰ درجه، جریان از سمت شمال به جنوب بوده و برای باد ۳۳۰ درجه جریان از سمت جنوب به شمال می‌باشد (شکل ۵). لذا ملاحظه می‌گردد که جهت وزش باد تأثیر معنی‌داری



شکل (۳): تأثیر جهت باد بر الگوی چرخشی جریان در لایه نزدیک بستر برای وضع موجود با حضور میانگذر (واحد مقیاس سرعت: m/s)



شکل (۴): تأثیر جهت باد بر الگوی چرخشی جریان در لایه میانی برای وضع موجود با حضور میانگذر (واحد مقیاس سرعت: m/s)



شکل (۵): تأثیر جهت باد بر الگوی چرخشی جریان در لایه سطحی برای وضع موجود با حضور میانگذر (واحد مقیاس سرعت: m/s)

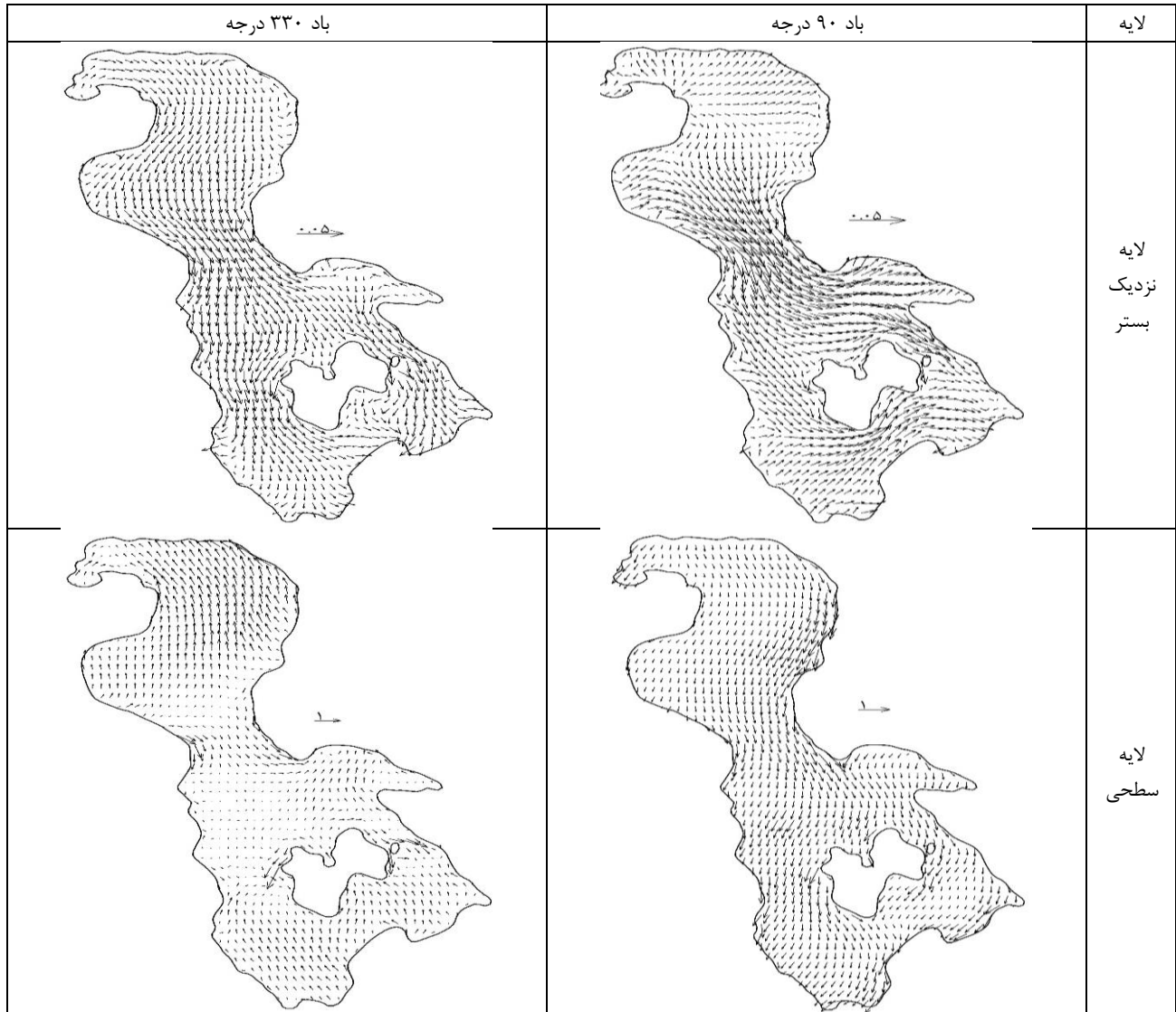
در باد با جهت ۹۰ درجه و برای لایه کف بستر، جهت جریان در حالت بدون میانگذر از سمت شمال به جنوب بوده، در حالی که برای حالت با وجود میانگذر جریان به سمت شمال بوده که این امر در بخش شمالی دریاچه بسیار مشهود می‌باشد (شکل ۷). در لایه سطحی تفاوت معنی‌داری بین الگوهای چرخشی در دو حالت با و بدون میانگذر مشاهده نمی‌گردد (شکل ۷). با توجه به اینکه شوری به دلیل چگالی بالای نمک در کف بستر دریاچه زیاد می‌باشد، لذا با توجه به تأثیر میانگذر در الگوهای چرخشی جریان بویژه در بخش شمالی، انتظار می‌رود که در اثر احداث میانگذر تبادل نمک از سمت شمال به جنوب کاهش یابد که این امر باعث افزایش شوری در بخش شمالی می‌گردد. وضعیت موجود دریاچه تأیید کننده این امر می‌باشد. البته قابل ذکر است که اندازه بردارهای سرعت در حالت بدون میانگذر بسیار بیشتر از حالت وضع موجود (با وجود میانگذر) می‌باشد که این امر بیانگر تأثیر زیاد احداث میانگذر بر کاهش سرعت جریان موجود در

نتایج مربوط به الگوهای چرخشی جریان در دو لایه سطحی و بستر تحت تأثیر جهت وزش باد برای حالت بدون میانگذر در شکل ۶ نشان می‌دهد که در لایه نزدیک بستر برای هر دو جهت وزش باد، جهت جریان از شمال به جنوب بوده، به جزء یک بخش کوچکی در قسمت شمالی دریاچه که در باد ۹۰ درجه، جهت جریان به سمت شمال می‌باشد. اما در لایه سطحی، جهت جریان برای دو باد مختلف الی‌جهت، متفاوت می‌باشد؛ بطوریکه در باد ۹۰ درجه، جهت جریان از شمال به جنوب و در باد ۳۳۰ درجه، جهت جریان از جنوب به شمال می‌باشد. در بخش جنوبی دریاچه در لایه نزدیک بستر، جهت جریان برای باد ۹۰ درجه از غرب به شرق می‌باشد اما برای باد ۳۳۰ درجه از شمال به جنوب دریاچه می‌باشد.

بررسی و مقایسه شکل‌های ۷ و ۸ حاکی از تأثیر قابل توجه وجود میانگذر بر تغییر الگوهای چرخشی جریان دارد.

دانسته است در تطابق است. به گونه‌ای که ایشان ذکر می‌کند که، اگرچه جریان‌اتی در اثر تبخیر و دبی رودخانه‌ها ایجاد می‌شوند اما نوسانات آن نسبت به نوسانات ناشی از سرعت باد کمتر است. همچنین در این راستا Zeinoddini et al. (2009) اذعان می‌کنند که باد یک عامل بسیار مؤثر بر الگوی جریان، در حالی که دبی رودخانه‌ها، تبخیر و بارش پارامترهای تأثیرگذار بر الگوی شوری هستند. دامن افشان (۱۳۹۰) عمده‌ترین عامل جریان در دریاچه ارومیه را باد معرفی کرده است.

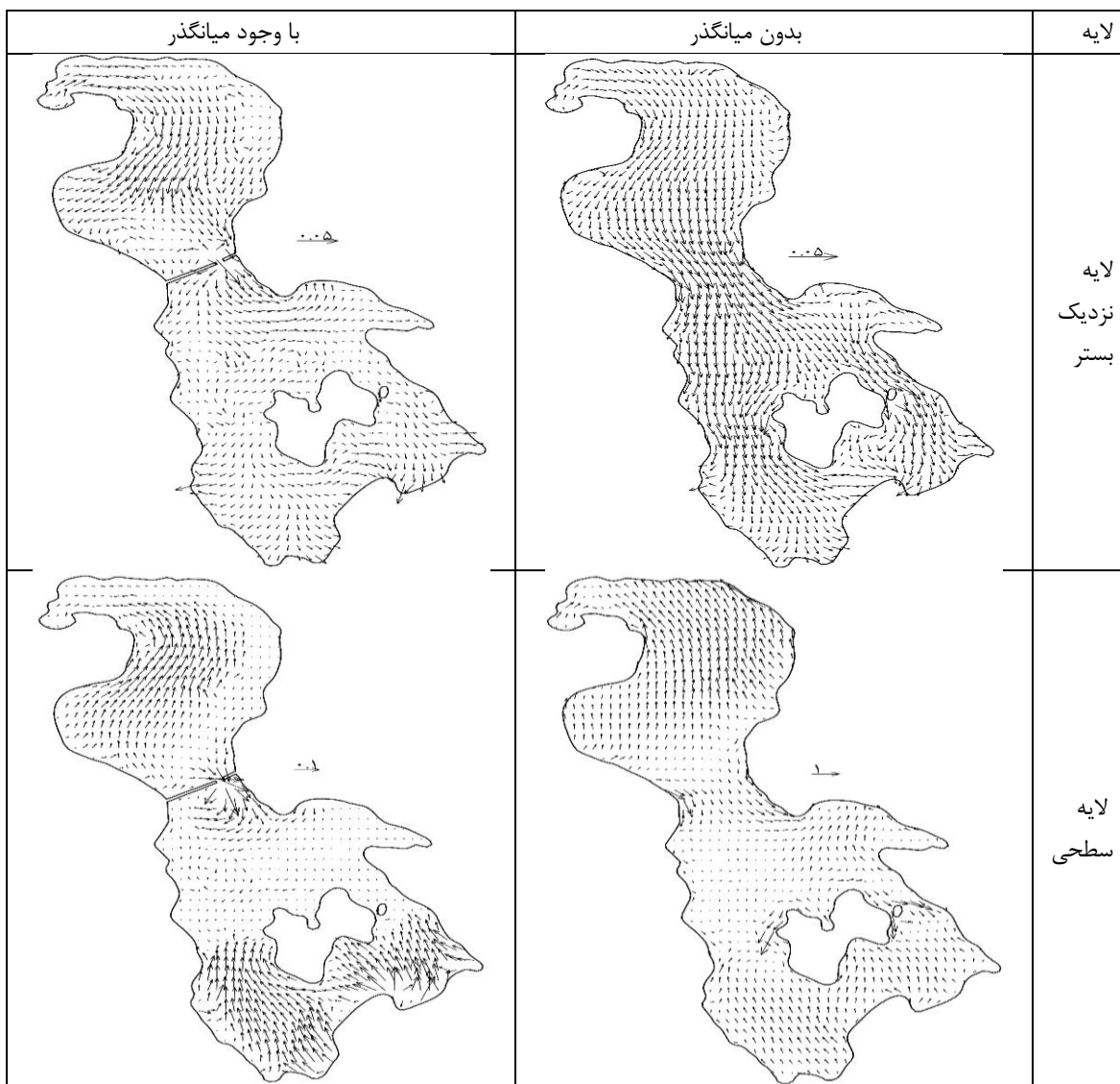
دریاچه می‌باشد. با این وجود محققان مختلفی از جمله مرجانی (۱۳۸۶) ادعا کردند که احداث میانگذر تأثیری در وضعیت الگوهای چرخشی و شوری در دریاچه ایجاد نمی‌کند. قابل توجه است که بر خلاف باد ۹۰ درجه، تفاوت الگوهای چرخشی جریان در دو لایه سطحی و نزدیک بستر در باد ۳۳۰ درجه قابل توجه نمی‌باشد (شکل ۸). لذا می‌توان نتیجه گرفت که هم جهت باد و هم وجود میانگذر تأثیر بسیاری در ایجاد الگوهای متفاوت چرخشی جریان بین دو بخش شمالی و جنوبی دریاچه ایفا می‌کند. این نتیجه با نتایج توفیقی (۱۳۸۴) که عمده‌ترین عامل نوسان دریاچه ارومیه را باد



شکل (۶): تأثیر جهت باد بر الگوی چرخشی جریان در پهنه دریاچه برای حالت بدون میانگذر (واحد مقیاس سرعت: m/s)

با وجود میانگذر	بدون میانگذر	لایه
		لایه نزدیک بستر
		لایه سطحی

شکل (۷): تأثیر وجود میانگذر بر الگوی جریان در باد ۹۰ درجه (واحد مقیاس سرعت: m/s)



شکل (۸): تأثیر وجود میانگذر بر الگوی جریان در باد ۳۳۰ درجه (واحد مقیاس سرعت: m/s)

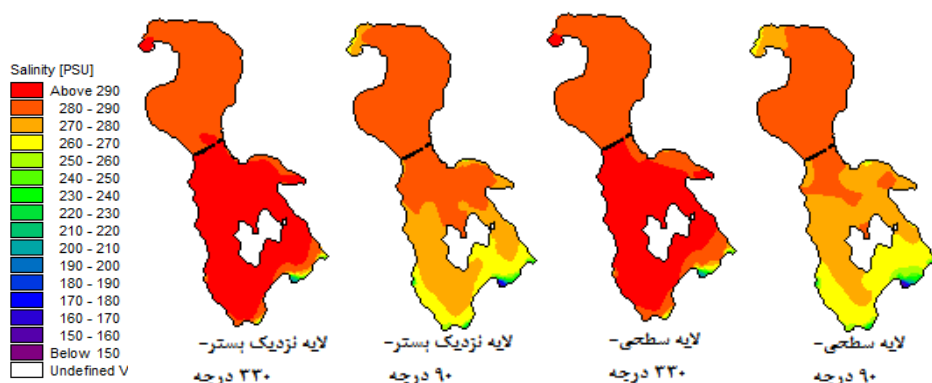
زیرا با تغییر الگوهای چرخشی جریان در پهنه دریاچه ارومیه در اثر تغییر جهت باد، الگوهای توزیع شوری نیز تغییر می‌یابند. در لایه سطحی میزان شوری بخش جنوبی دریاچه در باد ۳۳۰ درجه بسیار بیشتر از باد ۹۰ درجه می‌باشد (شکل ۹). این روند در لایه نزدیک بستر نیز مشابه لایه سطحی می‌باشد. هر چند در بخش شمالی دریاچه تغییر ملموسی در

تأثیر جهت باد بر الگوی توزیع شوری

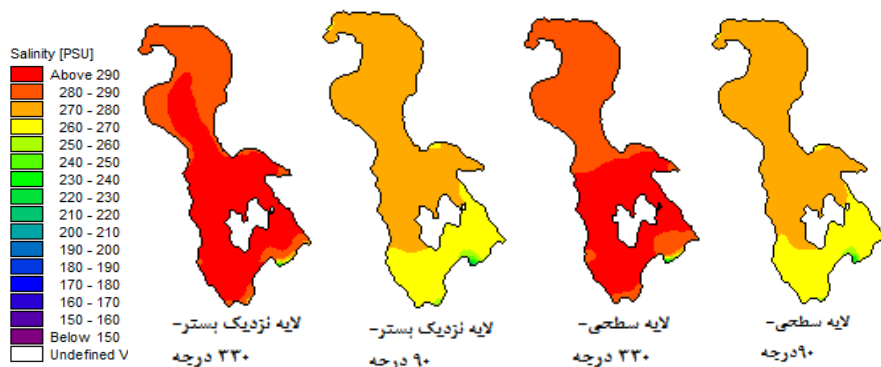
نتایج مربوط به الگوی توزیع شوری در لایه‌های نزدیک بستر و سطح آب (سطحی) که نشان دهنده تأثیر جهت باد می‌باشد برای حالت با وجود میان‌گذر (شکل ۹) و بدون میان‌گذر (شکل ۱۰) حاکی از آن است که جهت باد تأثیر قابل توجهی بر روی توزیع شوری در پهنه دریاچه ارومیه گذاشته است.

جنوبی دریاچه شورتر از بخش شمالی می‌باشد. آنچه که در حالت با و بدون میان‌گذر مشهود می‌باشد این است که در حالت بدون میان‌گذر از میزان شوری بخش شمالی در باد ۳۳۰ درجه نسبت به باد ۹۰ درجه کاسته شده است که این امر تأثیر میان‌گذر را بر کاهش میزان شوری در بخش شمالی نشان می‌دهد. بطور کلی می‌توان بیان کرد که جهت باد یکی از عوامل تأثیر گذار بر الگوی توزیع شوری در پهنه آبی دریاچه می‌باشد.

توزیع شوری در جهت‌های مختلف وزشی باد ملاحظه نمی‌شود اما در باد ۹۰ درجه در برخی قسمت‌های بخش شمالی دریاچه از میزان شوری کاسته شده است. با توجه به اینکه وقوع جهت باد ۹۰ و ۳۳۰ درجه بترتیب در ۲۱ آبان و ۱۵ بهمن ماه سال ۱۳۸۳ می‌باشد انتظار می‌رود سایر عوامل دیگر از جمله دبی ورودی رودخانه‌های منتهی به دریاچه نیز بر روی الگوی توزیع شوری تأثیر گذار باشند. در شکل ۱۰ که مربوط به حالت بدون میان‌گذر می‌باشد تأثیر جهت باد نیز کاملاً مشهود بوده که در نتیجه آن در باد ۳۳۰ درجه بخش



شکل (۹): تأثیر جهت باد بر توزیع شوری با وجود میان‌گذر



شکل (۱۰): تأثیر جهت باد بر توزیع شوری در حالت بدون میان‌گذر

۳۳۰ درجه بر الگوهای چرخشی جریان و شوری در دو حالت وضع موجود (با وجود میان‌گذر) و بدون وجود میان‌گذر می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که باد عامل تأثیر گذار بر الگوهای چرخشی جریان و شوری در

نتیجه گیری

بروز بحران‌های زیست محیطی در دریاچه ارومیه به یکی از مسائل مهم و مورد توجه تبدیل شده است. هدف از این تحقیق، شبیه‌سازی عددی تأثیر جهت باد ۹۰ و



سه بعدی شبیه‌سازی نشان داد که جهت جریان در لایه نزدیک بستر و لایه سطحی متفاوت بوده که این امر از جهت باد و وجود میانگذر تأثیر می‌پذیرد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از ریاست محترم پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه آقای دکتر کامران زینالزاده بخاطر حمایت مالی تقدیر و قدردانی می‌شود.

دریاچه ارومیه می‌باشد و جهات مختلف باد باعث ایجاد الگوهای چرخشی و توزیع شوری متفاوت در دریاچه می‌گردد. همچنین وجود میانگذر نیز تأثیر معنی‌داری در تغییر الگوهای چرخشی و شوری جریان ایجاد می‌کند که این امر در لایه نزدیک بستر دریاچه و در بخش شمالی دریاچه بیشتر مشهود بود. علاوه بر آن نتایج تحقیق حاضر نشان داد که وجود میانگذر باعث کاهش سرعت جریان در دریاچه شده و الگوی جریان را در قسمت‌های میانی دریاچه (اطراف میانگذر) بشدت تغییر داده است. نتایج

منابع

- شرکت طرح نو اندیشان، ۱۳۸۳. مطالعات تفصیلی هیدرولیک دریاچه ارومیه طرح آزاد راه شهید کلانتری، گزارش مرحله دوم: اطلاعات محیطی پایه، بازنگری صفر.
- محمدی، م.، ۱۳۸۱. معرفی ویژگی‌های دریاچه ارومیه، پروژه میان‌گذر و مسائل زیست محیطی: مقدمه‌ای بر هیدرودینامیک گردش آب دریاچه ارومیه، مقالات علمی همایش میان‌گذر دریاچه ارومیه و محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.
- پیرانی، ز. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی سه‌بعدی اثر میان‌گذر شهید کلانتری بر هیدرودینامیک و شوری دریاچه ارومیه (با استفاده از Mike 3 Flow Model FM). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ارومیه.
- دامن افشان، ا.، ۱۳۹۰. شبیه‌سازی هیدرودینامیکی تغییرات شوری در دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه.
- توفیقی، محمد علی. ۱۳۸۴. مدل‌سازی عددی جریان در دریاچه ارومیه به‌منظور تعیین موقعیت و دهانه بهینه پل میان‌گذر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیر.
- مرجانی، ع.ا.، ۱۳۸۶. مدل‌سازی سه‌بعدی تعادل آب و انتقال آب شور در دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
- شرکت صدرا، ۱۳۸۳. مطالعات هیدرولیک، هیدرودینامیک و زیست محیطی طرح شهید کلانتری در دریاچه ارومیه، بازنگری صفر، جلد اول و دوم.
- مهندسین مشاور آب نیرو. ۱۳۷۳. مطالعات مرحله دوم مقدماتی بزرگراه شهید کلانتری واقع در دریاچه ارومیه، جلد پنجم، گزارش مطالعات هیدرولیکی.

DHI. 2007. Mike3 estuarine and coastal hydraulics and oceanography hydrodynamic module. (D.H.I). Danish Hydraulic Institute.

Hansen I. S., Moller J. S. and Findikakis A. N. 2001. Three-dimensional hydrodynamic modeling of the Maracaibo system, Venezuela. In proceedings of the congress-international association for hydraulic research (pp. 641-649).



Karbassi A., Bidhendi G. N., Pejman, A. and Bidhendi M. E. 2010. Environmental impacts of desalination on the ecology of Lake Urmia. *Journal of Great Lakes Research*, 36(3), 419-424.

Marjani A.A. and Jamali A. 2008. Water quality model of a hypersaline lake. In *Proceeding of 5th Int Eng Construct Conf (IECC'5)*, Irvine, CA, USA, 27-29 August 2008.

Shafieefar, M. 2005. Salinity circulation in the Urmia Lake after construction of the causeway. In *Proceeding of 31st IAHR Congress*, Seoul, Korea, 11-16.

Talebizadeh M., and Moridnejad A. 2011. Uncertainty analysis for the forecast of lake level fluctuations using ensembles of ANN and ANFIS models. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 4126-4135.

Zeinoddini M., Tofighi, M.A., Vafae, F. 2009. Evaluation of dike-type causeway impacts on the flow and salinity regimes in Lake Urmia. *Journal of Great Lakes Research*. 35, 13-22.

Zeinoddini M., Bakhtiari A., and Ehteshami, M. 2013. Wave-flow coupling effects on spatiotemporal variations of flow and salinity in a large hypersaline marine system: Lake Urmia Iran. *Limnology*, 14(1): 77-95.

Zeinoddini M., Tofighi M. A., and Bakhtiari, A. 2014. Assessment of 2DH and pseudo-3D modelling platforms in a large saline aquatic system: Lake Urmia, Iran. *Hydrological Processes*, 28(18): 4953-4970.



3D Numerical Simulation of Wind Direction Effect on Flow Circulation and Salinity Patterns at Lake Urmia

Mohammad Hemmati¹, Hojjat Ahmadi², Sajad-Ahmad Hamidi³

Abstract

In recent years, Lake Urmia has encountered with environmental crisis, due to poor management of water resources, increasing the agricultural land and over the construction of dams on feeding rivers. In this research, a 3D model (Mike 3 flow model FM) was applied to investigate the effects of changes in wind direction and construction of causeway on flow circulation and salinity distribution in Lake Urmia. The salinity data measured in two depths (near the water surface and close to the bed), and different locations were used to evaluate the calibration and verification of the model. The results of the present study showed that the wind speed and its direction are one of the important parameters that play a major role in flow circulation patterns, especially in the surface layer of the water, and salinity distribution in both cases with and without causeway. Moreover, three-dimensional simulation results revealed that the flow path and salinity distribution were different in surface and bottom layers, due to the wind direction and construction of the causeway.

Keywords: Flow pattern, Water level, Stratified flows, Lake Urmia, MIKE 3

¹ Associate professor of Water Engineering, Lake Urmia Research Institute, Urmia University, Urmia, Iran, Email: m.hemmati@urmia.ac.ir, corresponding author.

² Associate professor of Water Engineering, Lake Urmia Research Institute, Urmia University, Urmia, Iran, Email: hojjat.a@gmail.com.

³ Assistant professor, Department of Physics, Indiana University of Pennsylvania, USA, Email: shamidi@iup.edu.