

## ارزیابی اجرای آبگذر اصلاحی جاده میان گذر بر اکوسیستم دریاچه ارومیه با استفاده از روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی و تحلیل مکانی

مهران داداش‌زاده<sup>۱</sup>، علیرضا مجتهدی<sup>۲\*</sup>، جواد پارسا<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(دریافت: ۹۸/۷/۲۰، پذیرش: ۹۹/۶/۱۵، نشر آنلاین: ۹۹/۶/۱۵)

### چکیده

دریاچه ارومیه بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و بزرگ‌ترین دریاچه آب شور در خاورمیانه می‌باشد. در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی، کمبود بارندگی، افزایش سطح زیر کشت اطراف دریاچه، احداث سدهای گوناگون در بالادست حوضه آبریز دریاچه و عوامل مختلف دیگر، همگی شرایط دریاچه را از لحاظ زیست‌محیطی، هیدرولیکی، کیفیت آب و رسوب‌گذاری به شرایط بحرانی نزدیک کرده‌اند. در این روند نزولی شرایط دریاچه، احداث میان‌گذر به‌عنوان یک مانع در برقراری ارتباط طبیعی بین دو بخش شمالی و جنوبی، بر پارامترهای کمی و کیفی جریان آب در دریاچه تأثیر داشته است. با تغییر شرایط جریان احتمال تغییر کیفیت آب در دو قسمت وجود دارد. بنابراین یکی از پارامترهای مؤثر در مطالعه و شبیه‌سازی دریاچه، مدل‌سازی وضعیت جریان‌ات و تراز سطح آب آن است. از این‌رو، در مطالعه حاضر با استفاده از مدل دینامیک سیالات محاسباتی به شبیه‌سازی الگوی جریان و توزیع شوری با هدف بررسی رفتار هیدرودینامیک و اثرات احداث میان‌گذر در دریاچه ارومیه پرداخته شده است. نتایج حاصل از مدل با اندازه‌گیری‌ها و نتایج مطالعات پیشین مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. ارزیابی‌ها حاکی از تطابق خوب بین نتایج مدل و مقادیر اندازه‌گیری‌شده می‌باشد. علاوه بر این، شبیه‌سازی توزیع شوری در دریاچه برای یک دوره یک‌ساله انجام گرفته و وجود میان‌گذر در توزیع زمانی و مکانی شوری آب آن بررسی شده است. در نهایت جهت اصلاح گردش جریان و هیدرودینامیک دریاچه، آبگذرهایی در طول میان‌گذر با بازشدگی‌های متفاوت پیشنهاد و سپس به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سناریوهای ارجح مدل‌سازی هیدرودینامیکی پرداخته شده است. خروجی مدل‌های تهیه شده نشان می‌دهد که گزینه‌های پیشنهادی در تغییر سرعت آب و توزیع شوری در مناطق حساس تأثیر معناداری ایجاد نمی‌کنند و از نظر الزامات زیست‌محیطی اثرات اکولوژیکی بر منطقه، قابل قبول می‌باشند.

**کلیدواژه‌ها:** جاده میان‌گذر، دریاچه ارومیه، مدل‌سازی هیدرودینامیکی، توزیع شوری، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، تحلیل مکانی.

### ۱- مقدمه

مدت، دریاچه ارومیه به دلیل کاهش سطح آب و افزایش شوری در شرایط بحرانی قرار گرفته است. در مجامع مختلف علمی، نظرات گوناگونی در رابطه با علت کاهش تراز سطح آب دریاچه مطرح می‌باشد (Zoljoodi و Didevarasl، ۲۰۱۴؛ Tourian و همکاران، ۲۰۱۵؛ Fathian و همکاران، ۲۰۱۶). احداث جاده میان‌گذر با طولی در حدود ۱۵/۵ کیلومتر که با عبور از داخل دریاچه، ساحل غربی و شرقی آن را به هم متصل می‌کند، به‌عنوان یکی از دلایل محتمل مطرح شده است. از سوی دیگر، اختلاف شوری بین قسمت شمالی و جنوبی دریاچه ارومیه که حتی در شرایط طبیعی دریاچه در ماه‌های کم‌آبی نیز اتفاق می‌افتد، خود

دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران و بین طول جغرافیایی ۳۸° ۱۵' تا ۳۷° ۰۶' و عرض جغرافیایی ۴۵° ۵۰' تا ۴۵° ۰۳' واقع شده است. این دریاچه از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران و جهان به شمار می‌آید و در سال ۱۹۷۶ از طرف سازمان یونسکو به‌عنوان یکی از مناطق بین‌المللی ذخائر طبیعی کره زمین «بیوسفر حفاظت شده»<sup>۱</sup> معرفی شده است (Danesh-Yazdi و Ataie-Ashtiani، ۲۰۱۹). گرچه این دریاچه در طی یک قرن گذشته نوسانات شدیدی را تجربه کرده اما روند نوسانات نزولی آن به شدت دو دهه اخیر نبوده است. در طی این

۱. UNESCO Biosphere Reserve

\* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۴۱-۳۳۳۹۲۵۴۰

آدرس ایمیل: mehrandadashzadeh1@gmail.com (م. داداش‌زاده)، a.mojtahedi@tabrizu.ac.ir (ع. مجتهدی)، jparsa@tabrizu.ac.ir (ج. پارسا).

را با استفاده از مدل عددی سه بعدی MIKE3-FM بررسی نمودند. نتایج مطالعه حاکی از دقت مناسب مدل مورد استفاده، در پیش‌بینی توزیع شوری برای کاربردهای عملی است.

توسعه فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)<sup>۳</sup>، به دلیل توانایی آن در ادغام مقادیر زیادی از داده‌های متنوع از منابع مختلف، باعث پیشرفت در بسیاری از زمینه‌های مهندسی و آمایش سرزمین شده است. استفاده از این سیستم در ارزیابی و حل مسائل زیست‌محیطی نیز بسیار مؤثر بوده و در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (González, ۲۰۱۱؛ Noble و همکاران، ۲۰۱۹). Raghuvanshi و همکاران (۲۰۱۵) به پهنه‌بندی خطر لغزش زمین با استفاده از سیستم GIS و روش روی هم‌گذاری نقشه‌ها در منطقه‌ای واقع در ایالت اورومیا کشور اتیوپی پرداختند. برای این منظور آن‌ها نقشه‌های مربوط به شش عامل مصالح شیب، منظر شیب، تراز، کاربری اراضی، پوشش زمین و اثرات سطحی آب‌های زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. Fernandez و همکاران (۲۰۱۸) ارزیابی و تحلیل اطلاعات زیست‌محیطی و خاک را با استفاده از GIS برای حوضه رودخانه دارو در کشور اسپانیا به منظور کنترل فرآیند فرسایش خاک انجام دادند. این تحلیل شامل شرایط مورفولوژیکی، خصوصیات خاک و اقلیم، پوشش گیاهی و کاربری اراضی است. Thakur و Rahman (۲۰۱۸) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سیستم GIS، به نقشه‌برداری و تحلیل انتشار سیلاب پرداختند. در این مطالعه، نقشه مدت سیلاب با استفاده از روش روی هم‌گذاری نقشه‌های سیل تهیه شد. در پژوهش حاضر، به منظور بررسی وضعیت هیدرودینامیک و اثرات احداث میانگذر در دریاچه ارومیه، به شبیه‌سازی الگوی جریان و توزیع شوری با استفاده از مدل MIKE3-FM پرداخته شده است. صحت‌سنجی مدل نیز با مقایسه نتایج حاصله با اندازه‌گیری‌ها و نتایج مطالعات پیشین در دریاچه صورت پذیرفته است. همچنین با شبیه‌سازی توزیع شوری برای یک دوره یک‌ساله، تأثیر وجود میان‌گذر در توزیع زمانی و مکانی شوری آب دریاچه مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، این مطالعه ارزیابی زیست‌محیطی سناریوهای ارجح مدل‌سازی هیدرودینامیکی را شامل می‌شود که تصمیم‌گیری مدیریتی در انتخاب راهکار علاج بخش را تسهیل می‌نماید.

## ۲- مدل‌سازی الگوی جریان و توزیع شوری جهت ارائه و ارزیابی گزینه‌های اصلاح میان‌گذر

### ۲-۱- برپایی مدل جریان

در این مطالعه به منظور انجام شبیه‌سازی‌ها، از مدل کوپل جریان سه‌بعدی و موج<sup>۴</sup> استفاده شده است. مدل هیدرودینامیکی

به حساسیت اکوسیستم بسیار حساس دریاچه بسته ارومیه می‌افزاید. بنابراین لازم است اثرات احداث میان‌گذر بر روی الگوی جریان و تبادل شوری به‌دقت مورد بررسی قرار گرفته و ارزیابی زیست‌محیطی گزینه‌های پیشنهادی برای بهبود شرایط دریاچه مدنظر قرار گیرد. در سال‌های اخیر، تلاش‌های متعددی برای بررسی وضعیت هیدرودینامیک دریاچه ارومیه صورت پذیرفته است.

ابرازی (۱۳۸۱) روند گردش آب در دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه از روش محاسبات عددی برای تعیین ویژگی‌های گردش آب ناشی از باد در دریاچه استفاده شده است. رشیدی و همکاران (۱۳۸۵) به تعیین الگوی امواج و جریان ناشی از باد به کمک مدل MIKE21 پرداختند و نتایج حاصله را با نتایج مدل نیمه تجربی SMB<sup>۲</sup> مورد مقایسه قرار دادند.

مرجانی و جمالی (۱۳۸۷) تعادل آب و انتقال شوری را در دریاچه ارومیه به‌صورت سه‌بعدی با استفاده از مدل عددی COHERENS شبیه‌سازی نمودند. نتایج حاصله از این پژوهش بیانگر اثر ناچیز وجود میان‌گذر بر روی تراز آب، شوری و چگالی دو طرف میان‌گذر است.

بختیاری و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از مدل سه‌بعدی MIKE3، شبیه‌سازی شوری و جریان را در دریاچه ارومیه مدنظر قرار دادند، بر اساس نتایج این پژوهش احداث میان‌گذر بر روی الگوی جریان در دریاچه تأثیرگذار است. در مطالعه دیگری دامن‌افشان و همکاران (۱۳۹۰) به شبیه‌سازی سه‌بعدی تغییرات شوری و دانسیته با استفاده از مدل عددی MIKE3 در دریاچه ارومیه پرداخته و الگوی مکانی تغییرات شوری را برای دو سال آبی تعیین نمودند.

Zeinoddini و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی تأثیر احداث میان‌گذر دریاچه ارومیه بر روی رژیم جریان و شوری این دریاچه از طریق مدل‌سازی عددی با استفاده از مدل‌های دو بعدی و سه‌بعدی MIKE پرداختند. همچنین زین‌الدینی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش دیگری، تأثیر امواج ناشی از باد بر الگوی جریان و شوری دریاچه ارومیه را مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه نیز از مدل عددی MIKE برای شبیه‌سازی جریان‌های دریاچه استفاده شده است.

Safavi و همکاران (۲۰۱۵) به شبیه‌سازی الگوی تغییرات مکانی شوری در دریاچه ارومیه با استفاده از مدل MIKE پرداختند. در این مطالعه نتایج مدل تنها از طریق مقایسه تراز آب با مقادیر اندازه‌گیری شده ارزیابی شده است. سودی و همکاران (۲۰۱۹) نیز تأثیرات دوره خشکسالی بر هیدرودینامیک و توزیع شوری دریاچه

2. Surface Mass Balance

3. Geographic Information System

4. MIKE3 Coupled model FM

از مدل  $k-\varepsilon$  استفاده شده است. بر اساس مشخصات حل عددی معادلات، مقدار گام زمانی محاسبات بین ۰/۱ تا ۶۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. مدل عددی استفاده شده توانایی این را دارد که بزرگ‌ترین گام زمانی ممکن را با در نظر گرفتن شرایط پایداری انتخاب نماید.

در این مطالعه پارامترهای مختلفی که می‌تواند در نتایج شبیه‌سازی پارامترهای هیدرودینامیکی جریان در دریاچه ارومیه تأثیرگذار باشد در مدل عددی مربوطه مورد بررسی قرار می‌گیرد. این پارامترها شامل اندازه شبکه محاسباتی، تعداد لایه‌بندی قائم، دقت حل معادلات عددی، تغییرات تراز سطح آب، مقدار ویسکوزیته گردابی، میزان ضریب زبری بستر، ضریب اصطکاک باد و سطح آب، اعمال دبی‌های ورودی رودخانه‌ها، تنش تشعشعی امواج می‌باشند. برای انجام تحلیل حساسیت‌ها، جریانات در محدوده دریاچه برای یک طوفان مشخص نمونه (۱۹۹۲/۲/۱۰-۱۹۹۲/۲/۴) و با استفاده از میدان باد WRF<sup>۵</sup> شبیه‌سازی می‌شوند. برای مقایسه حالت‌های مختلف، سری زمانی نتایج در ۵ نقطه در نواحی مختلف دریاچه با یکدیگر مقایسه می‌گردد (شکل (۱-الف)). همچنین در برخی موارد محدود که لازم به نظر می‌رسید، برای ارزیابی اثر عوامل مختلف بر چرخش آب دریاچه، نتایج شبیه‌سازی‌ها بر میدان جریان در سطح دریاچه و برای زمان پیک طوفان نیز با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

از میان پارامترهای ذکر شده، میزان تراز سطح آب بر روی نتایج شبیه‌سازی جریانات در دریاچه بسیار تأثیرگذار بوده و باید در تعیین و اجرای سناریوهای نهایی مورد توجه قرار گیرد. لازم به یادآوری است که تراز آب خود به‌عنوان یکی از خروجی‌های مدل محسوب شده و به‌عنوان پارامتر تعیین دقت مدل استفاده می‌شود. همچنین، اعمال تنش تشعشعی امواج سبب ایجاد تغییرات در مقادیر سرعت جریان به‌ویژه در زمان پیک طوفان‌ها شده و بهتر است شرایط امواج و اثرات آن بر روی جریان نیز به‌صورت هم‌زمان با مدل جریان دیده شوند. ضرایب زبری بستر و اصطکاک باد نیز هرکدام تا حدی بر روی نتایج اثرگذار بوده و می‌توانند به‌عنوان پارامترهای واسنجی مدل مورد استفاده قرار گیرند.

ساخت فایل شبکه‌بندی در این پروژه به نحوی صورت پذیرفته است که تا حد امکان از بهینه‌ترین اندازه و تعداد شبکه در میدان محاسباتی استفاده گردد. برای این منظور نسبت به اندازه شبکه محاسباتی تحلیل حساسیت انجام می‌شود. شکل (۱-ب) نتایج سرعت و جهت جریانات شبیه‌سازی شده با اندازه شبکه‌های

MIKE توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک و با همکاری انستیتو کیفیت آب<sup>۶</sup> پایه‌ریزی و به‌مرور زمان تکمیل شده است. این مدل یکی از رایج‌ترین ابزار در شبیه‌سازی هیدرودینامیک توده‌های آبی به شمار می‌رود و دارای قابلیت‌های محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینه مدل کردن پدیده‌های مربوط به دریاچه‌ها، نواحی کم‌عمق ساحلی، خلیج‌ها و دریاها می‌باشد. مدل MIKE3-FM معادلات ناویر-استوکس<sup>۶</sup> سه‌بعدی تراکم‌ناپذیر را با فرض بوینسک<sup>۷</sup> و فشار هیدرواستاتیک حل می‌نماید. علاوه بر آن، معادلات انتقال شوری و دما نیز حل می‌شوند. معادلات مورد استفاده در مدل عبارت‌اند از:

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

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

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

که در روابط بالا  $t$  زمان،  $x$ ،  $y$  و  $z$  مختصات کارتزین،  $u$ ،  $v$  و  $w$  مؤلفه‌های سرعت جریان،  $\eta$  تراز سطح آب،  $h$  عمق کل آب،  $f$  پارامتر کوریولیس،  $g$  شتاب ثقلی زمین،  $\rho$  چگالی آب،  $\rho_0$  چگالی مرجع آب،  $s_{xx}$ ،  $s_{xy}$ ،  $s_{yx}$  و  $s_{yy}$  مؤلفه‌های تانسور تنش برشی،  $v_t$  ویسکوزیته گردابی قائم،  $p_a$  فشار اتمسفریک،  $S$  دبی چشمه یا چاه متمرکز،  $F_u$  و  $F_v$  مؤلفه‌های انتشار افقی،  $u_s$  و  $v_s$  مؤلفه‌های سرعت آب وارد یا خارج شونده به محیط می‌باشند.

همچنین شبکه‌بندی مورد استفاده در راستای افقی به‌صورت نامنظم بوده و از سیستم مختصات سیگما در جهت قائم استفاده شده است. روش عددی مورد استفاده برای حل معادلات نیز به‌صورت حجم محدود است. در فرآیند مدل‌سازی، شبیه‌سازی جریان در برگیرنده تمام شرایط هیدرودینامیکی منطقه بوده و نیروهای حاکم بر معادلات هیدرودینامیک شامل مواردی از جمله باد، فشار هوا، موج، ورودی رودخانه‌ها و نیروی کوریولیس هستند. همچنین در مدل جریان، محاسبه ویسکوزیته افقی بر اساس فرمول اسمگورینسکی<sup>۸</sup> انجام گرفته و برای شبیه‌سازی آشفتگی

5. Danish Hydraulic Institute & Water Quality Institute

6. Navier- Stokes equations

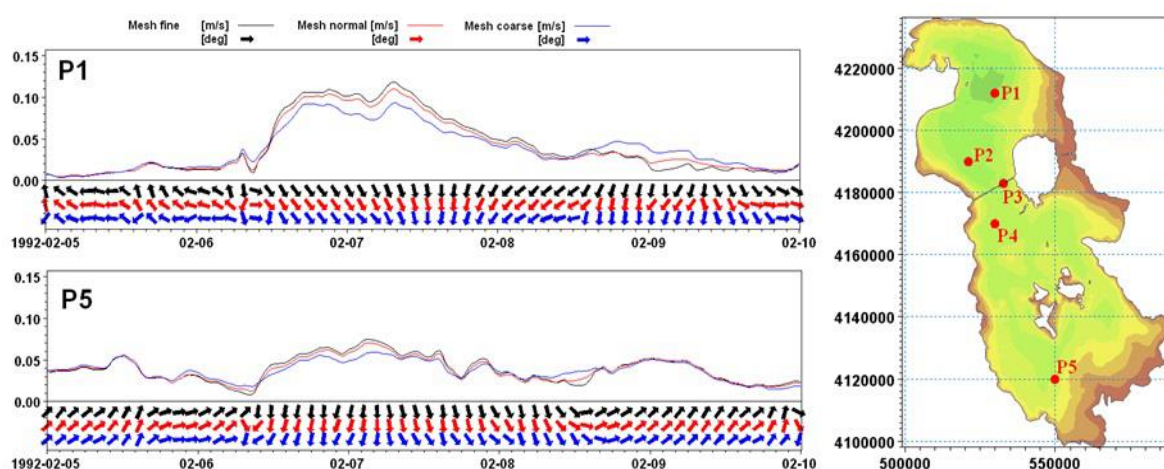
7. Boussinesq approximation

8. Smagorinsky Formulation

9. Weather Research and Forecasting Model

مشکلات اندازه‌گیری دقیق این پارامتر، معمولاً با توجه به شناخت کلی نسبت به جنس بستر مقدار پارامتر تخمین زده می‌شود و در صورت موجود بودن اندازه‌گیری‌های مناسب از منطقه به‌عنوان پارامتر کالیبراسیون در مدل‌های ریاضی استفاده می‌گردد. بر اساس مشاهدات محلی که جنس رسوبات بستر را عمدتاً رس و لای تشخیص داده‌اند و نیز بر اساس تجربیات مطالعات قبلی (صدرا، ۱۳۸۲؛ زین‌الدینی ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵)، در مدل‌های دو بعدی پارامتر ضریب زبری مانینگ  $10$  برابر  $39 m^{1/3}/s$  و در مدل‌های سه‌بعدی مقدار ارتفاع زبری بستر برابر  $0.07 m$  در نظر گرفته می‌شود.

محاسباتی متفاوت را در نقاط P1 و P5 نشان می‌دهد. شبکه‌بندی نهایی دارای ابعاد ۱۰۰ تا ۲۱۰۰ متر در نقاط مختلف می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم در تحلیل‌های هیدرودینامیکی در مدل‌های با معادلات حاکم آب کم‌عمق، ضریب اصطکاک آب و باد است. با توجه به حساسیت خاص مدل و عدم امکان اندازه‌گیری، از مقادیر ارائه‌شده در منابع و مراجع معتبر استفاده شده است. در این رابطه با بررسی در پروژه‌های مشابه و تجربیات پروژه‌هایی نظیر مطالعات پایش و شبیه‌سازی سواحل شمالی کشور (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۴) و نیز نتایج مطالعات پیشین، مقدار این پارامتر برابر  $0.025$  در نظر گرفته شده است. پارامتر دیگر مؤثر در تحلیل جریان‌های دریایی، ضریب اصطکاک بستر است. نظر به



شکل ۱- الف) موقعیت نقاطی که در آن نتایج مدل‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است، ب) مقایسه نتایج سرعت و جهت جریان خروجی مدل در نقاط P1 و P5 برای مدل‌های با اندازه شبکه‌بندی مختلف

دقت کافی برخوردار باشد. تغییرات تراز سطح آب دریاچه در دو مقیاس زمانی کلی دسته‌بندی می‌شود که ناشی از دو عامل است. مورد اول تغییرات کوتاه‌مدت و موضعی تراز سطح آب ناشی از رخداد طوفان‌ها هستند که شامل خیزآب ناشی از باد (و در صورت رخداد شکست امواج، خیزآب موج در نواحی ساحلی) بوده و دوره زمانی آن‌ها چند ساعت و روز است. مورد دیگر تغییرات بلندمدت تراز سطح آب دریاچه ناشی از بیلان آبی دریاچه و دبی‌های ورودی و خروجی به آن است. تغییرات کوتاه‌مدت، ناشی از تنش حاصل از وزش باد بر روی سطح آب و یا انتقال جرم ناشی از امواج در نواحی کم‌عمق بوده و مدت زمان آن همان‌طور که گفته شد از چند ساعت تا چند روز بسته به تداوم طوفان‌ها ممکن است متغیر باشد. تغییرات بلندمدت به‌صورت ماهیانه و فصلی بوده و بیشتر ناشی از دبی‌های ورودی رودخانه‌ها و بارش و تبخیر است. میزان کلی متوسط شوری در کل دریاچه وابسته به تغییرات بلندمدت

## ۲-۲- برپایی مدل شوری

در مطالعه حاضر به شبیه‌سازی الگوی توزیع شوری در دریاچه با مدل هیدرودینامیکی موردنظر نیز پرداخته شده است. برای این منظور، چگالی به‌صورت تابعی از شوری و دما در نظر گرفته شده و معادلات انتقال و انتشار شوری حل می‌گردد. توزیع شوری  $S$  از معادله انتقال - انتشار عمومی به‌صورت زیر تبعیت می‌کند:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + s_s S \quad (4)$$

که در آن  $D_v$  ضریب انتشار آشفتنگی عمودی،  $s_s$  شوری مرجع و  $F_s$  مؤلفه انتشار افقی شوری است.

از آنجا که دریاچه ارومیه یک محیط آبی بسته است، میزان شوری آب آن بسیار وابسته به بیلان آبی دریاچه و تغییرات تراز آب است. از این‌رو لازم است مدل‌سازی تغییرات تراز سطح آب از

غربی میان‌گذر ارائه شده و وضعیت جریان برای حالت‌های مختلف بررسی شده است.

برای بررسی دقیق‌تر اثر وجود میان‌گذر و بازشدگی‌های اضافی در آن بر روی رژیم جریان، مقادیر سرعت جریان در حالت عدم وجود میان‌گذر به صورت مقادیر پایه در نظر گرفته شده و سرعت جریان در حالت‌های دیگر با آن مقایسه و برای آن‌ها شاخص‌های آماری محاسبه شده است. جهت ارزیابی نتایج از شاخص‌های آماری ضریب پراکنندگی ( $SI$ ) و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) استفاده شده است. این شاخص‌ها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$SI = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_p - X_m)^2}}{\bar{X}_m} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{(\sum (X_p - \bar{X}_p)(X_m - \bar{X}_m))^2}{\sum (X_p - \bar{X}_p)^2 \sum (X_m - \bar{X}_m)^2} \quad (6)$$

در این روابط  $n$  تعداد داده‌ها،  $X_p$  مقادیر سرعت جریان در هر یک از سناریوهای پیشنهادی و  $X_m$  مقادیر سرعت جریان در حالت عدم وجود میان‌گذر بوده و  $\bar{X}_p$  و  $\bar{X}_m$  نیز به ترتیب میانگین داده‌های فوق می‌باشند. برای هر یک از حالت‌های فوق، جانمایی بازشدگی‌های اضافی در موقعیت‌های مکانی مختلف صورت گرفته و وضعیت جریان در آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در هر یک از حالت‌ها، بهترین موقعیت قرارگیری بازشدگی به نحوی انتخاب شده است که در آن وضعیت جریان به حالت عدم وجود میان‌گذر نزدیک‌تر شده باشد. موقعیت نقاطی که وضعیت جریان در آن‌ها مقایسه شده در شکل (۲-الف) نشان داده شده است.

ایجاد تغییرات در هر اکوسیستمی چه با احداث سازه باشد و چه با برداشتن و حذف آن، مسبب بروز تغییرات و یا تخریب‌هایی در محیط زیست محدوده خواهد بود. این تغییرات و فشارها تا حد امکان باید مورد پیش‌بینی واقع شده و سناریو ایده‌آل از لحاظ زیست‌محیطی مشخص گردد. از این‌رو، انجام مطالعات ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح‌های عمرانی در شناسایی عوامل و اثرات مخرب محیط زیست و همچنین ارائه راهکارهای کاهش و تقلیل اثرات منفی بسیار حائز اهمیت است. انجمن بین‌المللی ارزیابی اثرات (IAIA)، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی را به صورت فرآیند تشخیص، پیش‌بینی، ارزیابی و کاهش اثرات بیوفیزیکی، اجتماعی و دیگر اثرات مرتبط قبل از تصمیم‌گیری‌های مهم و انجام تعهدات تعریف می‌کند (International Association for Impact Assessment, ۱۹۹۹).

تراز سطح آب می‌باشد. در این مطالعه برای شبیه‌سازی بیلان آبی دریاچه و تغییرات تراز سطح آب آن، از اطلاعات دبی ورودی رودخانه‌ها به صورت روزانه استفاده شده است. داده‌های دبی روزانه آب ورودی به دریاچه از رودخانه‌های مختلف برای ۱۸ ایستگاه دبی‌سنجی منتهی به دریاچه از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شده‌اند.

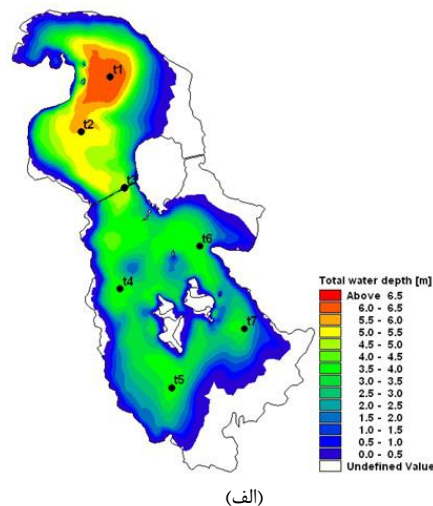
برای اجرای بلندمدت شبیه‌سازی شوری لازم است تا شرایط مدل به حالت پایدار برسد. منظور از شرایط پایدار این است که در صورت تغییرات اندک تراز آب متوسط سالیانه، مقدار متوسط شوری سالیانه به حالت پایدار رسیده و مقدار روزانه شوری در طی سال به صورت پریودیک برای سال‌های مختلف (به صورت تقریبی) تکرار شود. مدل‌سازی‌های دو و سه‌بعدی قبلی انجام شده شوری دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که مدت زمان لازم برای پایداری مقادیر شوری مدل بین ۳/۵ تا ۴ سال است (صدرا، ۱۳۸۲؛ بختیاری و همکاران، ۱۳۸۸؛ دامن‌افشان، ۱۳۹۰). بنابراین شبیه‌سازی‌های شوری در این مطالعه نیز به صورت ۴ سال متوالی برای رسیدن به همگرایی لازم انجام شده است. داده‌های ورودی به معادلات انتقال و انتشار شوری در مدل، علاوه بر اطلاعات هیدرودینامیک و تراز آب، اطلاعات شوری ورودی از رودخانه‌ها و نیز شوری اولیه مدل است. اطلاعات شوری ورودی از رودخانه‌ها کاملاً وابسته به دبی ورودی آن‌ها بوده و معمولاً به صورت تابعی از آن تعریف می‌شود. برای به‌دست آوردن مقدار شوری برحسب دبی ورودی، مقادیر شوری رودخانه‌های مختلف برحسب دبی متوسط ماهیانه ارائه شده در مطالعات صدرا (۱۳۸۲) ترسیم و یک منحنی نمایی به آن برازش داده شده است. سپس با استفاده از این تابع نمایی برای هر یک از رودخانه‌ها بر اساس دبی متوسط روزانه، میزان شوری ورودی به دریاچه به صورت روزانه به‌دست آمده و به‌عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار گرفته است.

## ۲-۳- ارزیابی وضعیت جریان در دریاچه با در نظر گرفتن اجرای آبگذری

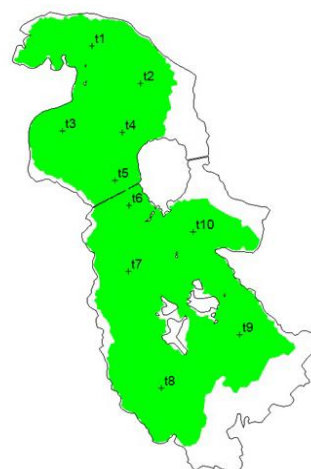
بر اساس مطالعات انجام شده و مدل‌سازی‌های صورت گرفته، هیدرودینامیک جریان در اثر احداث میان‌گذر دریاچه ارومیه دچار اختلال و تغییراتی شده است. به منظور اصلاح گردش جریان و هیدرودینامیک دریاچه، آبگذرهایی در طول میان‌گذر با بازشدگی‌های متفاوت پیشنهاد شده است. برای تراز اکولوژیک، علاوه بر حالت وجود و عدم وجود میان‌گذر در وضعیت فعلی، راهکارهای اصلاحی به صورت بازشدگی‌های اضافی نیز در نظر گرفته شده و مدل‌های بلندمدت برای آن‌ها اجرا شده است. این راهکارهای اصلاحی به صورت بازشدگی‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ متری و نیز ترکیبات مختلفی از آن‌ها بر روی خاکریز

مناطق تحت تأثیر و برخی از اثرات آشکار را شناسایی نمود. روش روی هم‌گذاری نقشه‌ها به صورت سیستم‌هایی از نمایش اطلاعات در قالب گرافیکی بوده و به شکل سری‌هایی از نمایه‌های<sup>۱۱</sup> منحصر به فرد شامل اطلاعات خاصی به شکل مجزا (پایگاه داده‌ها)، می‌باشند. این داده‌ها در نهایت به صورت یک نقشه ترکیبی که قادر به بیان مطالب بیشتری می‌باشد نمایش داده می‌شود. نقشه‌های انطباقی می‌توانند انطباقات یا تضادها را بین پروژه‌ها و فاکتورهای زیست‌محیطی نشان دهند. این روش شامل چند مرحله است. در اولین مرحله، منطقه مورد مطالعه به واحدهای مختلفی براساس سیستم شبکه‌بندی، اشکال توپوگرافی و یا کاربری‌های مختلف زمین تقسیم می‌گردد. استفاده از عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی، مشاهدات صحرایی، نشست‌های عمومی، جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات اقلیمی، تاریخی، زمین‌شناسی، فیزیوگرافی<sup>۱۲</sup>، هیدرولوژی، خاک‌ها، جوامع گیاهی و جانوری و کاربری زمین در این مرحله معمول می‌باشد. در مرحله بعد، طبقه‌بندی‌هایی از اطلاعات جهت ارزیابی اثرات مثبت، منفی و خنثی محیط بر پروژه و یا اثرات پروژه بر محیط زیست انجام می‌گیرد. این طبقه‌بندی‌ها بر صفحات شفاف منتقل می‌گردد. طبقه‌بندی‌های دارای ارزش بالاتر دارای سایه‌های کدر، طبقه‌بندی‌های دارای ارزش متوسط با سایه‌های خاکستری و طبقه‌بندی‌های دارای ارزش پایین با سایه‌های روشن مشخص می‌شوند (Wathern, ۱۹۸۸). مک-هارگ<sup>۱۳</sup> (۱۹۶۸) نخستین بار این دیدگاه را برای مکان‌یابی در یک بزرگراه به کار برد. از مزایای این روش می‌توان به کاربرد ساده، نمایش دیداری مؤثر و قابلیت تطبیق آن با تحلیل‌های کامپیوتری اشاره کرد.

در پژوهش حاضر به منظور تهیه اطلاعات لازم جهت استفاده در لایه‌بندی اطلاعات مکانی مربوط به دریاچه ارومیه، ابتدا ضروری است که نقشه‌های مختلف عوارض زمین‌شناختی و هیدرولوژیکی منطقه مربوطه تهیه شوند. در شکل (۳) نقشه‌های زمین‌شناسی، منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در محدوده دریاچه ارومیه آورده شده است. سپس در راستای ارزیابی اثرات احداث میان‌گذر بر روی اکوسیستم‌های موجود با استفاده از این روش، نقشه اکوسیستم‌های حساس جانوری محدوده اثرات مستقیم استخراج می‌گردد (طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۳۸۷). این اکوسیستم‌ها به صورت مناطق با حساسیت بالا (شامل مصب رودخانه‌ها، جزایر نیمه جنوبی و تالاب‌های آب شیرین حاشیه جنوبی دریاچه)، مناطق با حساسیت متوسط (سواحل شرق و غرب دریاچه) و مناطق با حساسیت کم (نیمه شمالی دریاچه) طبقه‌بندی شدند. نقشه حساسیت زیستگاه‌ها در محدوده دریاچه در شکل (۴) نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۲- الف) موقعیت نقاطی که در آن‌ها مقایسه وضعیت جریان در حالت‌های مختلف صورت گرفته است، ب) نقاطی بر روی دریاچه که سری زمانی شوری در آن‌ها برای دو حالت با و بدون میان‌گذر مقایسه شده است

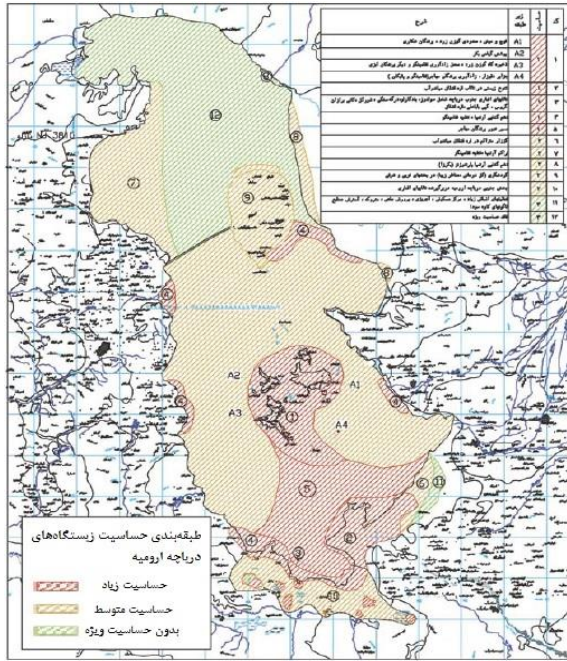
## ۲-۴- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی راهکارهای اصلاح آبگذری میان‌گذر دریاچه ارومیه

روش‌های مختلفی جهت انجام مطالعات ارزیابی وجود دارد. انتخاب هر یک از این روش‌ها به پارامترهای مختلفی وابسته است. یکی از این موارد، امکان به‌کارگیری روش موردنظر در شرایط خاص هر پروژه است. بدین مفهوم که پس از بررسی نوع پروژه، شرایط محیط‌زیست منطقه، هزینه، زمان و اطلاعات کتابخانه‌ای و میدانی موجود باید اقدام به انتخاب روش نمود. در مطالعه حاضر، از روش تحلیل مکانی روی هم‌گذاری نقشه‌ها جهت ارزیابی اثرات پروژه اصلاح میان‌گذر دریاچه ارومیه بهره گرفته شده است. در این روش با روی هم قرار دادن تعدادی نقشه شفاف که شرایط محیطی و فاکتورهای مؤثر در آن‌ها رسم گردیده می‌توان

13. McHarg

11. Theme  
12. Physiography





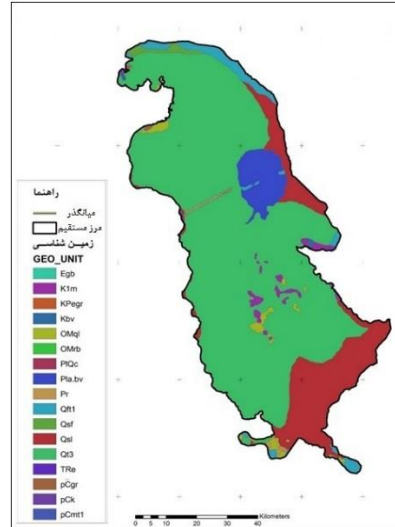
شکل ۴- نقشه حساسیت زیستگاه‌ها در محدوده دریاچه ارومیه (A)

گام بعدی تهیه نقشه تغییر سرعت و توزیع شوری در گزینه‌های پیشنهادی است. هدف از این امر، بررسی تأثیر این گزینه‌ها بر مناطق با حساسیت بالا است. برای این منظور، نقشه‌های GIS مربوط به تغییر سرعت و توزیع شوری با استفاده از داده‌های مکان‌دار عددی خروجی مدل MIKE تولید می‌شوند. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS خروجی‌های عددی مدل به فایل رستر تبدیل شده و از آن‌ها مدل رقومی ارتفاع (DEM) استخراج می‌گردد. در مرحله بعد DEM‌های خام کلاسه‌بندی می‌شوند تا مقایسه گزینه‌ها با یک مقیاس ممکن گردد. در نهایت خروجی مدل با مرز منطقه کلیپ شده و با نقشه حساسیت زیستگاه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. منطقه هدف برای بررسی اهمیت مناطق با حساسیت بالا انتخاب و تغییر سرعت و شوری در مناطق با حساسیت بالا در گزینه‌های چهارگانه ارائه‌شده با هم و همچنین با شرایط موجود مقایسه می‌شوند.

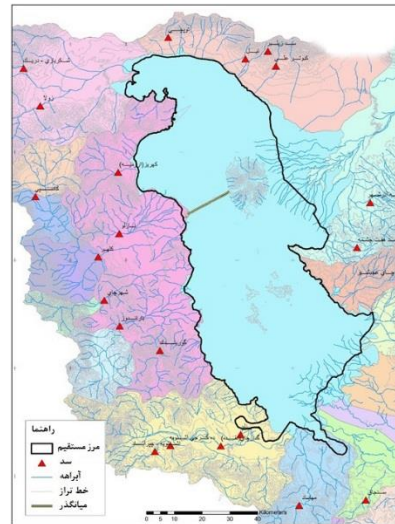
### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- ارزیابی نتایج مربوط به مدل‌سازی الگوی جریان

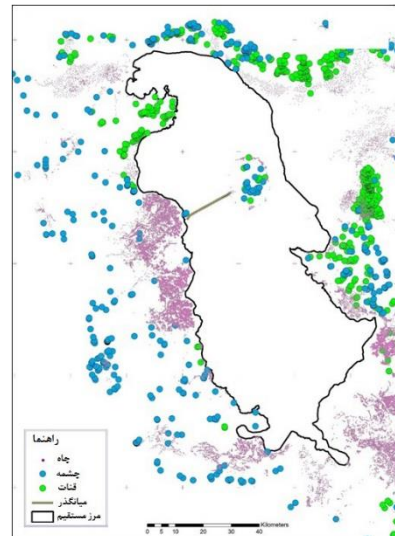
برای بررسی میزان اثر اندازه شبکه محاسباتی در دقت و زمان شبیه‌سازی، شبکه‌های محاسباتی مختلف با اندازه شبکه متفاوت تولید شده و برای هر یک از آن‌ها مدل برای یک طوفان خاص اجرا گردید. به‌عنوان نمونه، مدل‌ها با استفاده از سه شبکه محاسباتی با درشت‌نمایی مکانی درشت، متوسط و ریز اجرا شده‌اند. شکل (۵) نمایشی از شبکه‌های ساخته شده با اندازه‌های مختلف را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

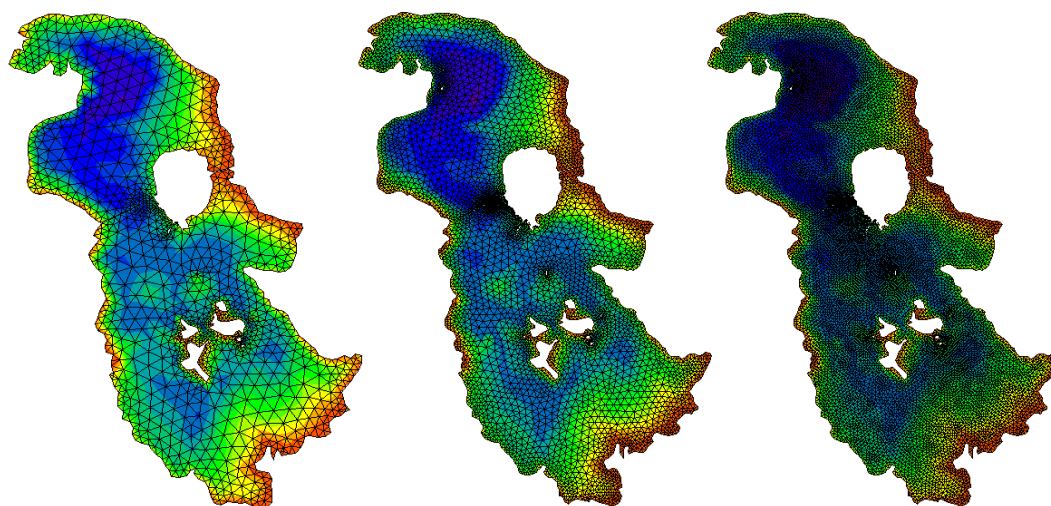


(ج)

شکل ۳- نقشه‌های (الف) زمین‌شناسی، (ب) منابع آب سطحی و واحد هیدرولوژیک، (ج) منابع آب زیرزمینی محدوده دریاچه ارومیه (۷)

۳-۲- ارزیابی نتایج مربوط به مدل سازی شوری آب دریاچه دو دوره شاخص اندازه‌گیری شوری در دریاچه ارومیه وجود دارد که در اغلب منابع به آن‌ها اشاره شده است. دوره اول مربوط به اردیبهشت‌ماه و مهر ماه ۱۳۶۶ (می و سپتامبر ۱۹۸۷) و دوره دوم مربوط به تیرماه ۱۳۸۷ (جولای ۲۰۰۸) می‌باشد (بختیاری و همکاران، ۱۳۸۸؛ کرباسی و همکاران، ۲۰۱۰).

نتایج سرعت و جهت جریانات شبیه‌سازی شده با اندازه شبکه‌های محاسباتی متفاوت برای دو نقطه در شکل (۱) آورده شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشاهده می‌شود، اختلاف اندکی میان نتایج مدل با شبکه‌بندی درشت با مدل‌های با شبکه‌بندی متوسط و ریز وجود داشته و در دو مورد اخیر تفاوت چندانی بین نتایج وجود ندارد. از این رو با توجه به زمان کم‌تر اجرای مدل با شبکه متوسط، این شبکه به‌عنوان شبکه نهایی انتخاب شده است.



شکل ۵- مقایسه درشت‌نمایی شبکه‌بندی‌های مختلف

در مطالعه حاضر، شبیه‌سازی توزیع شوری در دریاچه برای یک دوره یک‌ساله نیز مدنظر قرار گرفته است تا به ارزیابی اثرات بلندمدت وقوع طوفان‌ها بر روی این عوامل پرداخته شود. برای این منظور شبیه‌سازی‌ها برای تراز نزدیک به تراز اکولوژیک صورت گرفته است. جهت ارزیابی سری زمانی تغییرات شوری در نقاط مختلف دریاچه در طی دوره شبیه‌سازی، سری زمانی این تغییرات در ۱۰ نقطه مطابق با شکل (۲-ب) برای دو حالت وجود و عدم وجود میان‌گذر با یکدیگر مقایسه شده است.

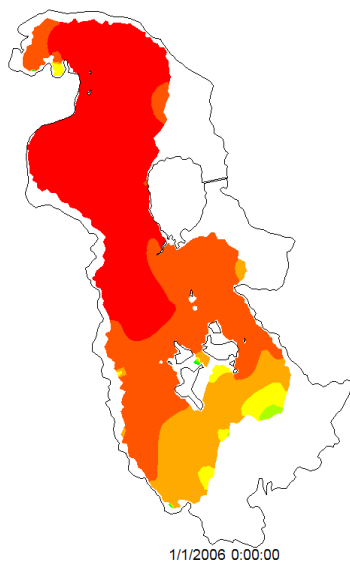
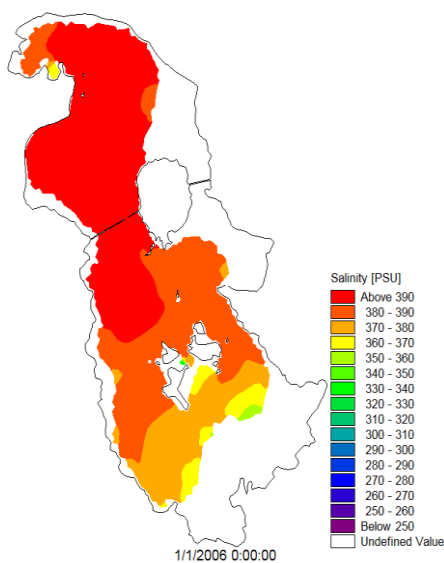
به‌عنوان نمونه، دو مورد از این مقایسه‌ها برای نقاط t4 و t7 در شکل (۷) ارائه شده است. با توجه به این‌که بیشتر حجم آب شیرین ورودی به دریاچه به نواحی جنوبی آن وارد می‌شود، بنابراین در نواحی جنوبی در مواقعی که دبی ورودی از رودخانه‌ها زیاد است، میزان شوری کاهش قابل‌ملاحظه‌ای می‌یابد (به‌عنوان نمونه کم‌تر از ۱۵۰ psu در نقطه t9 که نزدیک دهانه ورودی چند رودخانه پر آب قرار دارد). حداکثر اختلاف شوری در دو حالت وجود و عدم وجود میان‌گذر برای نواحی شمالی ۳ psu و برای نواحی جنوبی ۱۰ psu در برخی مناطق است.

بر اساس اندازه‌گیری‌های سال ۱۳۶۶، در فصل بهار آب دریاچه از نظر غلظت ناهمگن بوده و به سه منطقه شمالی (با شوری ۲۳۵g/l)، جنوب غربی (با شوری ۲۲۵g/l) و مرکزی-جنوب شرقی (با شوری ۲۱۱g/l) تقسیم می‌شود. این ناهمگنی در عمق نیز وجود داشته ولی تغییرات بسیار جزئی است. دلیل این ناهمگنی ورود بخش اعظم رودخانه‌های آب شیرین به نواحی مرکزی و جنوب شرقی است. در ابتدای پاییز، غلظت آب در سراسر دریاچه همسان است. دلیل همسانی شوری در فصل پاییز، کاهش قابل‌توجه دبی ورودی رودخانه‌ها و انتقال جرم بین مناطق با شوری بالاتر و پایین‌تر در طول تابستان است. برای ارزیابی بهتر، نتایج حاصل از انجام شبیه‌سازی‌ها در این مطالعه با نتایج به‌دست آمده در مطالعات Zeinodini و همکاران (۲۰۰۹) و (۲۰۱۵) در شکل (۶) مقایسه شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشاهده می‌شود، نتایج نسبت به مطالعات پیشین از دقت مناسب‌تری برخوردار است. این نتایج، صحت شبیه‌سازی‌های انجام شده را از دیدگاه دیگری نشان می‌دهد. به‌طوری‌که شبیه‌سازی شوری یک گام پس از شبیه‌سازی جریان است و اگر مدل هیدرودینامیکی در قسمت جریان کالیبره نباشد، نتایج مناسبی برای شبیه‌سازی توزیع شوری ارائه نخواهد کرد.

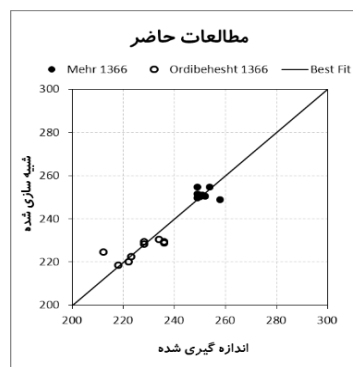
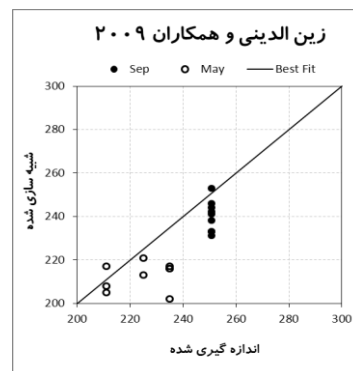
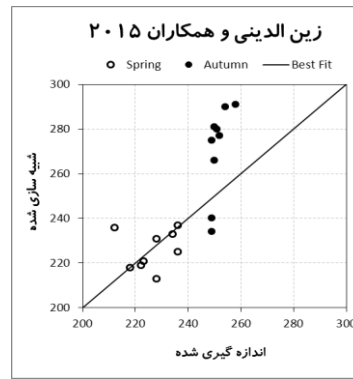


۳-۳- ارزیابی نتایج اثرات زیست‌محیطی با استفاده از تحلیل مکانی

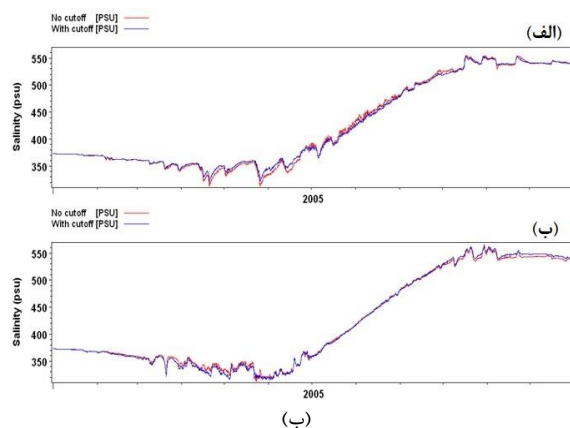
همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، به‌منظور ارزیابی نتایج بلندمدت شوری آب دریاچه، شبیه‌سازی‌های شوری در این مطالعه به‌صورت چهار سال متوالی برای رسیدن به همگرایی لازم انجام شده است. شکل (۸) مقایسه شوری آب دریاچه را در انتهای شبیه‌سازی‌ها برای دو حالت با و بدون میان‌گذر نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، مقدار شوری دریاچه در دو حالت تغییر قابل‌ملاحظه‌ای نداشته و تبادل جریان بین شمال و جنوب دریاچه در دو حالت، تبادل شوری را نیز به همراه داشته است.



شکل ۸- مقایسه شوری دریاچه در انتهای شبیه‌سازی‌ها برای دو حالت با و بدون میان‌گذر



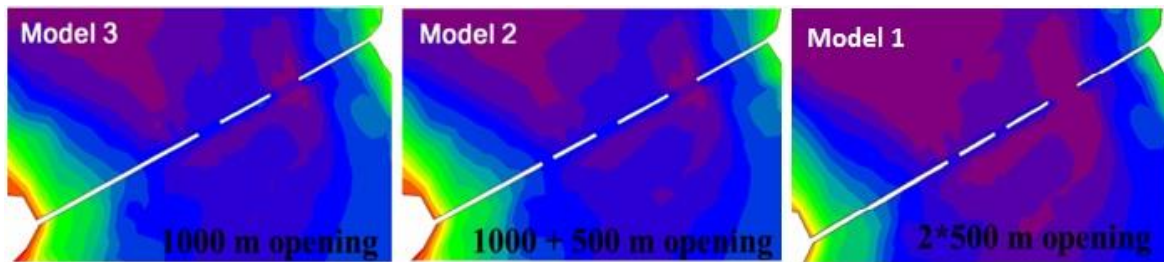
شکل ۶- مقایسه نتایج شوری شبیه‌سازی شده در مطالعات مختلف با اندازه‌گیری‌ها



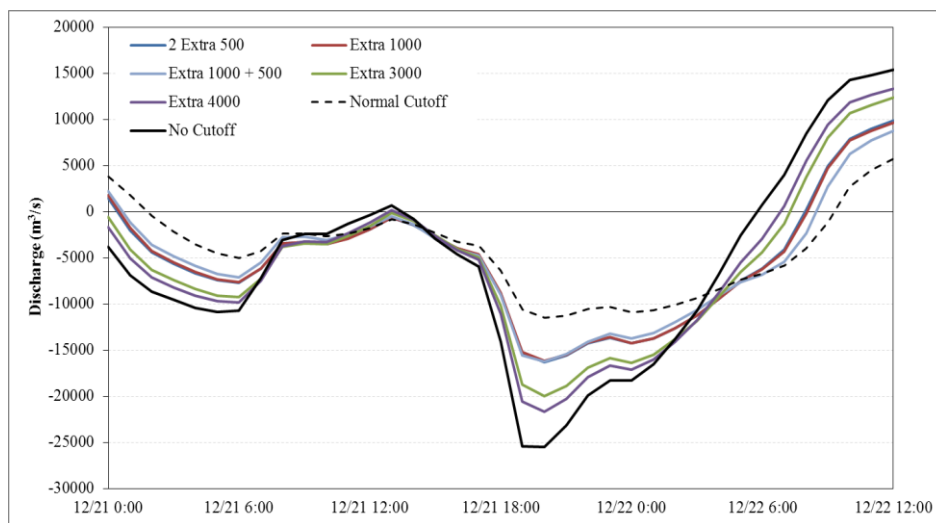
شکل ۷- مقایسه شوری برای حالت با و بدون میان‌گذر برای: (الف) نقطه t4، (ب) نقطه t7

حالت‌های مختلف و در طی یک طوفان نمونه مقایسه شده است. با توجه به شکل، با افزایش بازشدگی اضافی به میزان ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ متر وضعیت جریان بسیار به حالت عدم وجود میان‌گذر نزدیک می‌گردد، درحالی‌که در سایر بازشدگی‌ها نیز بهبود در میزان دبی عبوری مشاهده می‌شود. در جدول (۱)، مقایسه سرعت جریان حاصل از مدل‌های مختلف با مقادیر به‌دست آمده از حالت عدم وجود میان‌گذر برای نقطه t2 نشان داده شده در شکل (۲-الف) ارائه شده است. این مقایسه برای نقاط دیگر نیز جهت ارزیابی شرایط گزینه‌های اصلاحی انجام پذیرفته است.

برای ارزیابی و مقایسه میان بازشدگی‌های مختلف با طول‌ها و موقعیت‌های مختلف، گزینه نهایی هر یک از بازشدگی‌های ۲×۵۰۰ متری، ۱۰۰۰ متری، ۱۰۰۰+۵۰۰ متری و ۳۰۰۰ متری با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین برای بررسی وضعیت جریان برای بازشدگی‌های اضافی بیش از ۳۰۰۰ متر، مدلی با بازشدگی اضافی ۴۰۰۰ متر در منتهی‌الیه شرقی خاک‌ریز و به‌صورت پیوسته با بازشدگی قبلی نیز اجرا شده است. شکل (۹) موقعیت قرارگیری برخی از این بازشدگی‌ها را نشان می‌دهد. در شکل (۱۰) دبی عبوری از ناحیه میانی دریاچه در



شکل ۹- موقعیت‌های قرارگیری بازشدگی‌های مختلف بر روی خاک‌ریز غربی میان‌گذر



شکل ۱۰- دبی عبوری از ناحیه میانی دریاچه برای حالت‌های مختلف در طی یک طوفان نمونه

جدول ۱- مقایسه سرعت جریان حاصل از مدل‌های مختلف با مقادیر به‌دست آمده از حالت عدم وجود میان‌گذر در نقطه t2

$R^2$	SI	شبکه‌بندی مورد استفاده مدل
۰/۸۲	۰/۳۰	میان‌گذر در حالت فعلی
۰/۹۳	۰/۱۸	میان‌گذر با دو بازشدگی اضافی ۵۰۰ متری
۰/۹۳	۰/۱۹	میان‌گذر با بازشدگی اضافی ۱۰۰۰ متری
۰/۹۶	۰/۱۵	میان‌گذر با دو بازشدگی اضافی ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری
۰/۹۷	۰/۱۳	میان‌گذر با بازشدگی اضافی ۳۰۰۰ متری
۰/۹۸	۰/۰۹	میان‌گذر با بازشدگی اضافی ۴۰۰۰ متری

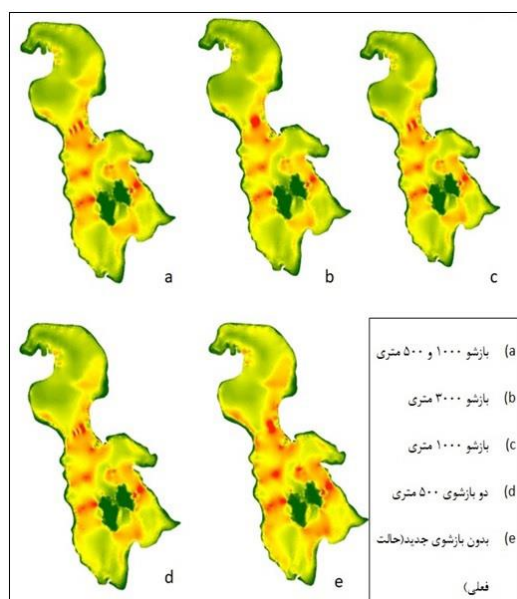
#### ۴- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر به ارزیابی وضعیت جریان‌ات و تراز سطح آب در دریاچه ارومیه با هدف بررسی رفتار هیدرودینامیک آن و اثرات احداث میان‌گذر پرداخته شده است. شبیه‌سازی‌ها با استفاده از مدل MIKE3 Coupled model FM انجام گرفته است. سپس نسبت به پارامترهای مختلفی که می‌توانست در نتایج شبیه‌سازی پارامترهای هیدرودینامیکی جریان در دریاچه ارومیه تأثیرگذار باشند، تحلیل حساسیت صورت گرفته است. بر اساس نتایج به-دست آمده، کاهش اندازه شبکه محاسباتی و تعداد لایه‌بندی قائم تا حد مشخصی در دقت نتایج تأثیرگذار بوده و بیشتر از آن تنها باعث افزایش هزینه محاسباتی می‌گردد.

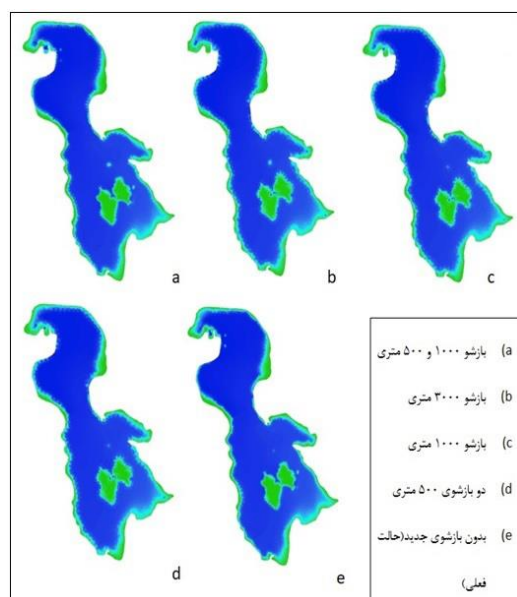
این فاکتور یک پارامتر واسنجی نبوده و باید ابعاد مش افقی و تعداد لایه‌های قائم به‌صورت بهینه انتخاب شوند تا گسسته‌سازی مکانی روی نتایج تأثیرگذار نباشد. دقت روش محاسباتی و مقدار ضریب ویسکوزیته گردابی نیز تأثیری بر روی مقادیر جریان نداشته و بنابراین نقشی در واسنجی مدل جریان ندارند. دبی‌های ورودی رودخانه‌ها برای شبیه‌سازی تراز سطح آب از ورودی‌های کلیدی محسوب می‌شوند. میزان تراز سطح آب بر روی نتایج شبیه‌سازی جریان‌ات در دریاچه بسیار مؤثر بوده و باید در تعیین و اجرای سناریوهای نهایی موردتوجه قرار گیرد. لازم به یادآوری است که تراز آب خود به‌عنوان یکی از خروجی‌های مدل محسوب شده و به‌عنوان پارامتر تعیین دقت مدل استفاده می‌شود. اعمال تنش تشعشعی امواج نیز سبب ایجاد تغییرات در مقادیر سرعت جریان به‌ویژه در زمان پیک طوفان‌ها شده و بهتر است شرایط امواج و اثرات آن بر روی جریان نیز به‌صورت هم‌زمان با مدل جریان دیده شوند. از میان فاکتورهای فوق، ضرایب زبری بستر و اصطکاک باد هرکدام تا حدی بر روی نتایج اثرگذار بوده و می‌توانند به‌عنوان پارامترهای واسنجی مدل مورداستفاده قرار گیرند. در ادامه نتایج مدل حاضر با اندازه‌گیری‌ها و نتایج مطالعات پیشین موردارزیابی و مقایسه قرار گرفته‌اند. ارزیابی‌ها حاکی از این است که نتایج این مطالعه از دقت مناسب‌تری نسبت به آن‌ها برخوردارند.

علاوه بر این، شبیه‌سازی توزیع شوری در دریاچه برای یک دوره یک‌ساله نیز مدنظر قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار شوری دریاچه در دو حالت تغییر قابل‌ملاحظه‌ای نداشته و تبادل دما و شوری بین شمال و جنوب دریاچه در دو حالت صورت می‌گیرد. همچنین ارزیابی سری زمانی تغییرات شوری در نقاط مختلف دریاچه در طی دوره شبیه‌سازی، نشان داد که حداکثر اختلاف شوری در دو حالت وجود و عدم وجود میان‌گذر برای نواحی شمالی ۳ psu و برای نواحی جنوبی ۱۰ psu در برخی مناطق است. این میزان نسبت به میزان شوری ۳۰۰-۵۰۰ psu دریاچه مقدار ناچیزی محسوب می‌گردد. بنابراین وجود میان‌گذر در

خروجی مدل‌های تهیه شده در بررسی تغییر سرعت و شوری در شکل (۱۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود گزینه‌های پیشنهادی در توزیع شوری در مناطق حساس تأثیر معناداری ایجاد نمی‌کنند. از طرفی تغییر سرعت چرخش آب بیشتر در محل بازشوها اتفاق می‌افتد. از آنجایی که مناطق حساس از محل میان‌گذر فاصله زیادی دارند، افزایش سرعت مستهلک شده و تا مناطق حساس تداوم ندارند. از این‌رو، گزینه‌های پیشنهادی بازشو در حالت‌های مختلف اختلاف چندانی با یکدیگر از منظر اثرات اکولوژیکی بر منطقه نخواهند داشت.



(الف)



(ب)

شکل ۱۱- الف) مدل تغییر سرعت چرخش آب، ب) توزیع شوری در دریاچه در اثر ساخت آبگذر اضافی (گزینه‌های پیشنهادی)

طرح حفاظت از تالاب‌های ایران - ادارات کل حفاظت محیط‌زیست آذربایجان غربی و شرقی، گزارش کارگاه: زون‌بندی مدیریت پایدار دریاچه ارومیه، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۳۸۷.

مرجانی ع ا، جمالی م، "مدل‌سازی سه‌بعدی تعادل آب و انتقال آب شوری در دریاچه ارومیه"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۸۷.

Danesh-Yazdi M, Ataie-Ashtiani B, "Lake Urmia crisis and restoration plan: Planning without appropriate data and model is gambling", *Journal of Hydrology*, 2019, 576, 639-651.

Fathian F, Modarres R, Dehghan Z, "Urmia Lake water-level change detection and modeling", *Modeling Earth Systems and Environment*, 2016, 2 (4), 1-16.

Fernandez P, Delgado E, Lopez-Alonso M, Poyatos JM, "GIS environmental information analysis of the Darro River basin as the key for the management and hydrological forest restoration", *Science of the Total Environment*, 2018, 613-614, 1154-1164.

González A, "GIS in Environmental Assessment: A Review of Current Issues and Future Needs", *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 2012, 14 (01), 1-23.

International Association for Impact Assessment "Principle of Environmental Impact Assessment Best Practice", 1999.

McHarg I, "A Comprehensive Highway Route Selection Method", *Highway Research Research*, 1968, 246, 1-15.

Noble MM, Harasti D, Pittock J, Doran B, "Linking the social to the ecological using GIS methods in marine spatial planning and management to support resilience: A review", *Marine Policy*, 108.

Raghuvanshi TK, Negassa L, Kala PM, "GIS based Grid overlay method versus modeling approach-A comparative study for landslide hazard zonation (LHZ) in Meta Robi District of West Showa Zone in Ethiopia", *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 2015, 18 (2), 235-250.

Rahman MR, Thakur PK, "Detecting, mapping and analysing of flood water propagation using synthetic aperture radar (SAR) satellite data and GIS: A case study from the Kendrapara District of Orissa State of India", *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 2018, 21 (1), 37-41.

Safavi S, Shamsai A, Saghafian B, Bateni SM, "Modeling Spatial Pattern of Salinity Using MIKE21 and Principal Component Analysis Technique in Urmia Lake", *Current World Environment*, 2015, 10 (2), 626-633.

Soudi M, Ahmadi H, Yasi M, Sibilla S, Fenocchi A, Hamidi SA, "Investigation over the capability of MIKE 3 flow model FM to simulate the hydrodynamics and salinity distribution of hypersaline lakes: Lake Urmia (Iran) as case study" *Coastal Engineering Journal*, 2019, 1-16.

Tourian MJ, Elmi O, Chen Q, Devaraju B, Roohi Sh, Sneeuw N, "A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran",

شرایط فعلی و یا عدم وجود آن تغییر قابل‌توجهی در توزیع زمانی و مکانی شوری آب دریاچه ایجاد نمی‌کند.

همچنین در مطالعه حاضر، راهکارهای ممکن برای اصلاح میان‌گذر موجود با هدف بهبود شرایط چرخش آب و الگوی جریان در دریاچه ارائه شد. مدل جریان سه‌بعدی برای این سناریوها اجرا شده و نتایج آن‌ها مورد تحلیل قرار گرفته است. اجرای مدل برای ترازهای ۱۲۷۰ تا ۱۲۷۶ متر و مقایسه وضعیت جریان در دو حالت وجود میان‌گذر و عدم وجود میان‌گذر و همچنین تأثیر بازشوهای موردنظر، حاکی از مؤثر بودن میان‌گذر در ترازهای بیشتر از ۱۲۷۱ متر بر الگوی گردش هیدرولیکی بوده و این اثر از تراز بیشتر از ۱۲۷۲ متر محسوس‌تر می‌باشد و به تبع آن بازشوهای موردنظر نیز در ترازهای بیشتر از ۱۲۷۲ متر تأثیر محسوس‌تری بر کاهش اختلاف سرعت و شدت جریان‌ها دارند.

در ادامه برای ارزیابی زیست‌محیطی سناریوهای ارجح مدل‌سازی هیدرودینامیکی از روش روی‌هم‌گذاری نقشه‌ها بهره گرفته شد. ارزیابی خروجی مدل‌های تهیه شده در بررسی شوری با استفاده از روش روی‌هم‌گذاری نقشه‌ها بیانگر این است که گزینه‌های پیشنهادی در تغییر سرعت آب و توزیع شوری در مناطق حساس تأثیر معناداری ایجاد نمی‌کنند و گزینه‌های پیشنهادی بازشو در حالت‌های مختلف از نظر تأثیرات اکولوژیکی بر منطقه، تفاوت قابل‌توجهی با یکدیگر ندارند.

## ۵- مراجع

ابراهی ر، "مطالعه گردش آب در دریاچه ارومیه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۱.

بختیاری آ، زین‌الدینی م، احتشامی م، "مدل‌سازی تغییرات الگوی جریان و شوری در دریاچه ارومیه با استفاده از یک مدل سه‌بعدی"، دومین سمپوزیوم بین‌المللی مهندسی محیط زیست، ۱۳۸۸.

دامن‌افشان ا، محمدی ع، مناف‌پور م، "شبیه‌سازی هیدرودینامیکی تغییرات دانسیته و شوری دریاچه ارومیه"، دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۳۹۰.

رشیدی ابراهیم حصاری ا، عسگری فلاح ع، ایزدی م، "طراحی یک مدل سه‌بعدی عددی برای گردش آب در دریاچه ارومیه و مقایسه نتایج آن با مدل عددی دو بعدی Mike21"، هفتمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، ۱۳۸۵. صدرا، "مطالعات هیدرولیک و هیدرودینامیک و بررسی‌های زیست‌محیطی دریاچه ارومیه"، ۱۳۸۲.

طرح حفاظت از تالاب‌های ایران - ادارات کل حفاظت محیط‌زیست آذربایجان غربی و شرقی، برنامه مدیریت جامع دریاچه ارومیه، طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۳۸۹.

- Remote Sensing of Environment, 2015, 156, 349-360.
- Wathern P, "An introductory guide to EIA. In: P. Wathern (Ed.). Environmental Impact Assessment: Theory and Practice", Unwin Hyman, Boston, MA. 1988, 332.
- Zeinoddini M, Bakhtiari A, Ehteshami M, "Long-term impacts from damming and water level manipulation on flow and salinity regimes in Lake Urmia, Iran", Water and Environment Journal, 2015, 29 (1), 71-87.
- Zeinoddini M, Tofighi MA, Vafae F, "Evaluation of dike-type causeway impacts on the flow and salinity regimes in Urmia Lake, Iran", Journal of Great Lakes Research, 2009, 35 (1), 13-22.
- Zoljoodi M, Didevarasl A, "Water-Level Fluctuations of Urmia Lake: Relationship with the Long-Term Changes of Meteorological Variables (Solutions for Water-Crisis Management in Urmia Lake Basin)", Atmospheric and Climate Sciences, 2014, 4 (3), 358-368.



## EXTENDED ABSTRACT

# Evaluation the Impacts of Causeway Remedial Actions on Urmia Lake Ecosystem Using Computational Fluid Dynamics and Spatial Analysis Method

Mehran Dadashzadeh <sup>a</sup>, Alireza Mojtahedi <sup>a,\*</sup>, Javad Parsa <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran

<sup>b</sup> Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran

**Received:** 13 October 2018; **Accepted:** 06 September 2020

---

### Keywords:

Causeway, Urmia lake, Hydrodynamic modeling, Salinity distribution, Environmental impact assessment, Spatial analysis.

---

## 1. Introduction

Urmia Lake is the largest inland water body in Iran and the largest hyper-saline lake in the Middle East. In recent years, climate change, rainfall scarcity, increased cultivated areas in the related watershed, construction of dams, and various other factors have all brought the lake's environment, hydraulic and water quality to critical condition (Zoljoodi and Didevarasl, 2014; Tourian et al., 2015; Fathian et al., 2016; Danesh-Yazdi and Ataie-Ashtiani, 2019). Moreover, the construction of the causeway has influenced the water flow in the lake, as a barrier to natural communication between the northern and southern parts. Changes in water flow conditions may affect water quality in two parts. Therefore, modeling the lake water flow condition and its water level is crucial for identifying the problems. In the present study, the flow pattern and salinity distribution are simulated using a computational fluid dynamics model to investigate the hydrodynamic conditions and the impacts of causeway construction on Urmia Lake. Finally, to improve water exchange between the north and south parts, additional openings are proposed along the causeway. Then, the environmental impacts are evaluated for the preferred hydrodynamic modeling scenarios.

## 2. Methodology

### 2.1. Simulation of flow and salinity distribution in order to propose and evaluate the causeway remedial options

In this study, the MIKE3 Coupled model FM was used to perform simulations. A number of sensitivity analyses were performed to evaluate the effects of different modeling parameters on both hydrodynamic and salinity distribution results. The validity of the numerical model was assessed by comparing the results with previous measurements and studies done on the lake. Moreover, the effects of the causeway construction on temporal and spatial salinity distribution in the lake were investigated by performing one-year simulations.

### 2.2. Evaluation of flow regime in Urmia Lake with regard to remedial actions

Hydrodynamic modeling studies proved that water circulation patterns have been disturbed by the causeway construction. In this regard, additional openings are proposed along the causeway to improve flow circulation in the lake. The remedial alternatives are presented as openings of 500, 1000, 3000, and 4000 m,

---

\* Corresponding Author

E-mail addresses: mehrandadashzadeh1@gmail.com (Mehran Dadashzadeh), a.mojtahedi@tabrizu.ac.ir (Alireza Mojtahedi), jparsa@tabrizu.ac.ir (Javad Parsa).

and various combinations of them westward of the existing opening and flow regime is evaluated for each of the cases.

### 2.3. Environmental impact assessment of proposed remedial actions

In the present study, a spatial analysis method “map overlay” was used to evaluate possible improvements in the causeway that some remedial measures may provide. For this purpose, GIS maps of flow velocity and salinity distributions were generated using MIKE model outputs. Then, numerical outputs were converted to raster files, and Digital Elevation Models (DEMs) were derived using ArcGIS software. Next, the raw DEMs were classified to compare options with a single scale. Finally, the model output was clipped to the boundary of the region and examined with the areas wildlife habitat sensitivity map. The target area was selected to evaluate the importance of high sensitivity areas and changes in flow velocity and salinity distribution were investigated in the area for the proposed remedial options.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Evaluation of results related to simulation of the lake water salinity

In order to monitor the convergence of the advection-dispersion model, salinity simulations have been carried out for the 4-year period. Fig. 1 shows the comparison of lake water salinity at the end of the simulations for the two conditions, with and without the causeway. It is observed from the figure that the amount of water salinity has not changed significantly in the two conditions, and the exchange of water flow between the north and south parts has led to salinity exchange.

### 3.2. Environmental impact assessment using spatial analysis

The model outputs for evaluating changes in flow velocity and salinity distribution are visualized in Fig. 11. As seen in the figure, the proposed options do not have a significant effect on the salinity distribution in sensitive areas. On the other hand, the changes in the speed of water circulation occur more frequently at the openings. Since sensitive areas are far from the causeway, the increased velocity depreciates and does not continue to the areas. Therefore, the proposed additional openings in different scenarios will not differ much in terms of ecological impacts on the area.

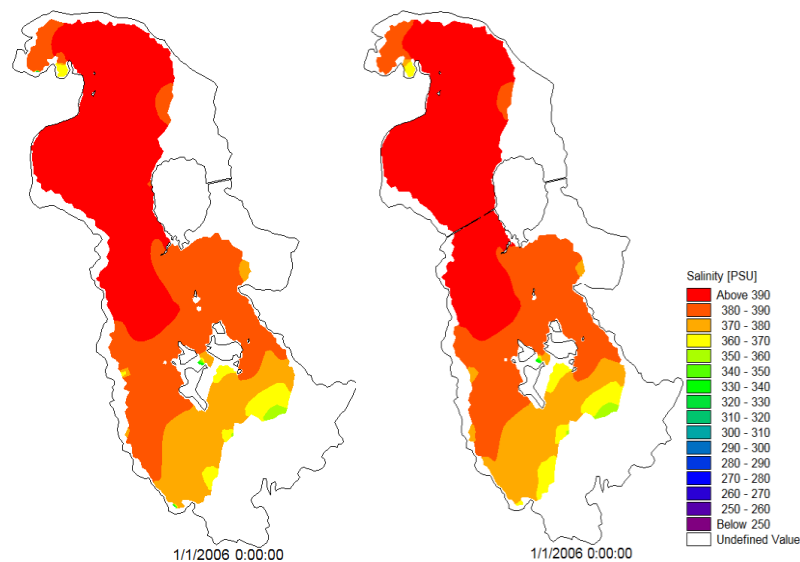
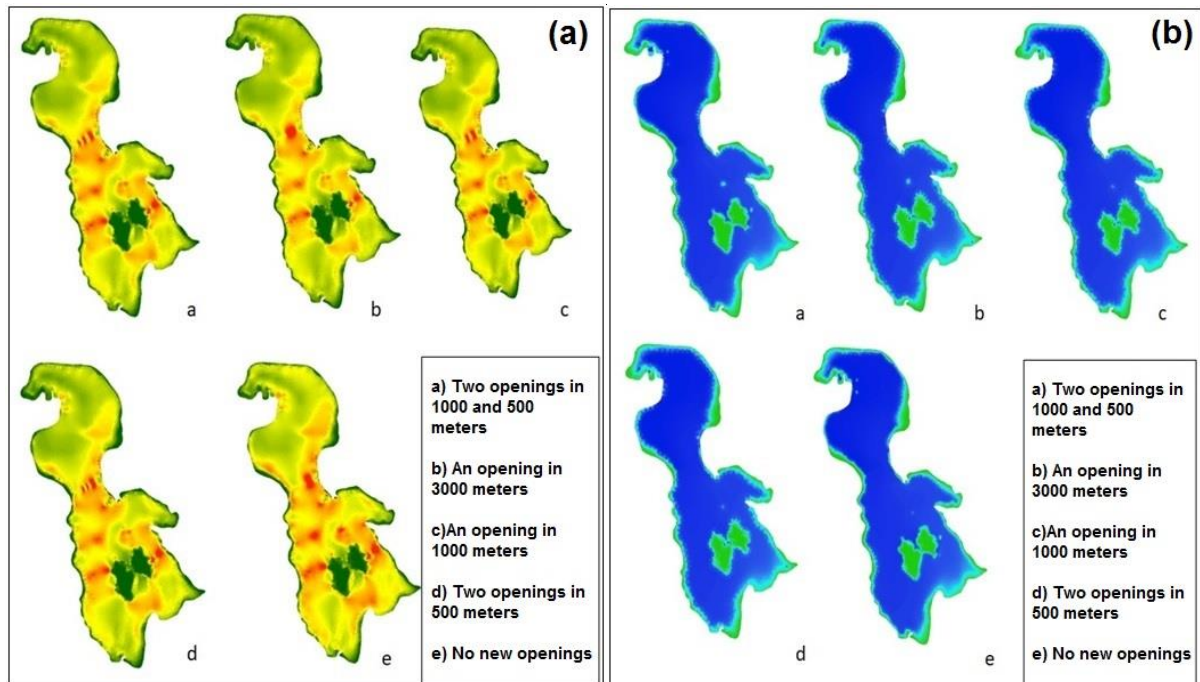


Fig. 1. Comparison of the lake water salinity at the end of simulations for two conditions, with and without the causeway

## 4. Conclusions

Simulation of flow and salinity distribution was performed in the lake for a one-year period. The results highlight that the water salinity of the lake does not change significantly in the two conditions and the temperature and salinity exchange occur between the north and south parts. Evaluation of time series of salinity variations in different parts of the lake during the simulation period indicated that the maximum salinity difference in both with and without the causeway is 3 PSU for the northern part and 10 PSU for the

southern one. Assessment of model outputs for salinity patterns provided by the map overlay technique shows that the proposed options do not have a notable impact on the flow velocity and salinity distribution in sensitive areas.



**Fig. 2.** Model of changes in: a) the speed of water circulation, b) salinity distribution in Urmia Lake as a result of additional openings construction (proposed options)

## 5. References

- Danesh-Yazdi M, Ataie-Ashtiani B, "Lake Urmia crisis and restoration plan: Planning without appropriate data and model is gambling", *Journal of Hydrology*, 2019, 576, 639-651.
- Fathian F, Modarres R, Dehghan Z, "Urmia Lake water-level change detection and modeling", *Modeling Earth Systems and Environment*, 2016, 2 (4), 1-16.
- Tourian MJ, Elmi O, Chen Q, Devaraju B, Roohi Sh, Sneeuw N, "A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran", *Remote Sensing of Environment*, 2015, 156, 349-360.
- Zoljoodi M, Didevarasl A, "Water-Level Fluctuations of Urmia Lake: Relationship with the Long-Term Changes of Meteorological Variables (Solutions for Water-Crisis Management in Urmia Lake Basin)", *Atmospheric and Climate Sciences*, 2014, 4 (3), 358-368.