

# گردش آب ناشی از رانش باد در دریاچه ارومیه

رسول ابراری

کارشناس ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس تهران

میر علی محمدی

استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه ارومیه و دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی

*m.mohammadi@mail.urmia.ac.ir*

محمد رضا بنا زاده

استادیار گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس تهران

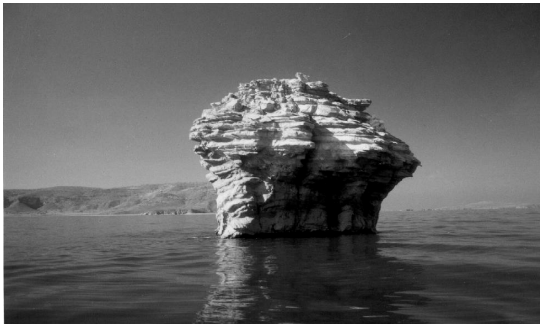
## چکیده

دریاچه ارومیه دارای ویژگی های شاخص طبیعی، هیدروشیمی، هیدرودینامیکی، زمین شناسی و زیست محیطی است، که آن را از سایر دریاچه های جهان متمایز ساخته است. بنابراین بهره برداری اصولی از این دریاچه، نیاز به شناخت دقیق این ویژگی ها است. نظر به اهمیت پروژه میانگذر دریاچه ارومیه، این ویژگی ها به طور مبسوط باید ارزیابی شوند. این مقاله، به ویژگی هیدرودینامیک گردش آب دریاچه ارومیه می پردازد. این موضوع نه تنها در جابجائی رسوبات و املاح بلکه تأثیر زیادی روی سازه و اجزای وابسته به میانگذر دریاچه نقش بسزایی دارد. حل عددی معادلات ساده شده ناویه-استوکس با بهره گیری از برنامه نویسی به زبان C انجام شد. بر اساس نتایج حاصل، گردش آب دریاچه دو سلول مهم گردش آب در طرفین میانگذر ایجاد می کند که سبب جابجائی حجم زیادی از رسوبات می شود. الگوهای توابع جریان و سرعت های ناشی از تنش بادهای غالب تقریباً مشابه هم بوده و به جز در اندازه، مقدار و جهت، با حالتی که عمق دریاچه را ثابت فرض کنیم تفاوت چندانی در الگوها به نظر نمی آید.

**کلید واژه ها:** دریاچه ارومیه، گردش آب، رانش باد، معادلات ناویه-استوکس، حل عددی.

## ۱- مقدمه

اقیانوس می تواند ادامه داشته باشد و جریانات افقی را به دنبال می آورد. این گردش با تغییر در شرایط اقلیمی و آب و هوایی زمانی اتفاق می افتد که گرادیان دما و گرادیان شوری در قسمتی از توده آب، تغییرات دانسیته آب را سبب می شود [۷]. هم چنان که در شکل (۱) ملاحظه می شود، کاظم داشی (یا مشت عثمان) به عنوان سمبل هیدرودینامیک گردش آب دریاچه ارومیه است. زیرا معلوم می شود که در این قسمت از دریاچه علاوه بر نوسانات سطح آب در طی سالهای متمادی، گردش و جریانهای آب باعث فرسایش دور تا دور سنگ شده و سنگ مورد نظر به شکل کنونی (مانند مشتی که از آب بیرون آمده باشد)، شکل گرفته است.



شکل ۱: کاظم داشی (مشت عثمان) به عنوان سمبل هیدرودینامیک گردش آب دریاچه ارومیه [۷]

دریاچه ارومیه با طول تقریبی ۱۳۵ تا ۱۵۰ کیلومتر و به عرض ۱۵ تا ۵۰ کیلومتر دارای مساحتی حدود ۵۰۰۰ کیلومتر مربع (متغیر در سالهای مختلف)، به عنوان یکی از مهمترین دریاچه های کره خاکی است. این دریاچه دارای ویژگیهای شاخص طبیعی، هیدروشیمی، هیدرودینامیکی، زمین شناسی و زیست محیطی است که آن را از سایر دریاچه های جهان متمایز می سازد. بنابراین بهره برداری اصولی از این دریاچه، نیاز به شناخت دقیق این ویژگی ها است. در این مقاله تلاش بر این است ویژگی هیدرودینامیک گردش آب دریاچه ارومیه مورد ملاحظه قرار بگیرد. نظر به اینکه پروژه میانگذر دریاچه ارومیه در حال ساخت است، لذا این ویژگی لازم است مورد بررسی جدی قرار گرفته و اثرات آن روی میانگذر نیز ارزیابی شود [۲].

## ۲- هیدرودینامیک گردش آب

گردش های ناشی از رانش باد در یک حوضه با توجه به مقیاس آن، معمولاً تحت تاثیر تغییرات کرل تنش باد و تغییرات عمق می باشد بطوری که اثرات تاوایی توپوگرافی و کرل باد در معادلات حاکم خواهند بود. در حالت کلی در بوجود آمدن گردش های اقیانوسی و اتمسفری نقش انرژی تشعشعی خورشیدی بیش از سایر عوامل است البته در مقام بررسی، حتما باید گردش های اقیانوسی و اتمسفری را با هم توأمان مورد بحث و بررسی قرار داد زیرا شرایط مشاهده شده نتیجه اندرکنش متقابل اقیانوس با اتمسفر و بالعکس می باشد [۵].

گردش های دریائی به دو صورت عمده تقسیم بندی می شوند [۱، ۳ و ۶] که عبارتند از:

(۱) گردش های ناشی از باد

(۲) گردش ترموهالاین ناشی از گرمایش و سرمایش.

گردش ناشی از باد اصولاً یک حرکت افقی است که می تواند سبب حرکات عمودی در سیال گردد. این گردش به صورت نیروی کوریولیس آشکار می شود و ضمناً به علت اصطکاک بین لایه های سیال، جهت حرکت آب هم جهت با جهت باد نبوده و در لایه های سطحی به سمت راست جهت وزش باد (در نیمکره شمالی) بسته و به سمت جهت باد در نیمکره جنوبی خواهند بود. گردش های ناشی از باد در دریاچه ارومیه نیز از این خاصیت مستثنی نمی باشد. گردش ترموهالاین یک جریان عمودی است که تا عمق متوسط و یا حتی تا کف

## ۳- معادلات هیدرودینامیک حاکم بر جریان

به منظور مطالعه هیدرودینامیک گردش آب دریاچه ارومیه معادلات زیر مورد بررسی قرار می گیرند [۳، ۶ و ۸]:

$$(۱) \quad \text{معادلهٔ حالت}$$

$$(۲) \quad \rho = \rho(T, S, P) \\ \text{معادلهٔ بقای شوری}$$

$$(۳) \quad \frac{DS}{Dt} = \nabla \cdot (k_s \cdot \nabla_s) + Q_s \\ \text{معادلهٔ بقای جرم}$$

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot u = 0$$

(۴) معادله بقای اندازه حرکت

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\Delta u}{\Delta t} + \rho(2\Omega \times u) \\ & = \rho[g - \Omega \times (\Omega \times r)] - \nabla P + F \end{aligned} \quad (۵)$$

معادله بقای انرژی

$$\frac{D}{Dt}(\rho c_v T) = \nabla \cdot (k_T \nabla T) + Q_T \quad (۶)$$

معادله حرکت

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\alpha \vec{\nabla} P - 2\Omega \times \vec{v} + \vec{g} + \vec{F}$$

بطور کلی می توان نوشت :

شتاب ناشی از سایر نیروها + شتاب گرانش + شتاب ناشی از کوریولیس - شتاب ناشی از گرادیان فشار = شتاب های اینرسی

سایر نیروها شامل نیروهای ناشی از اصطکاک، جزر و مد، زمین لرزه و..... است. حل هم زمان این معادلات به روش تحلیلی میسر نیست، از این رو روش های عددی پیشنهاد می شود، که با به کارگیری شرایط مرزی حل می گردد.

#### ۴- تقریب های فیلتری معادلات و شرایط مرزی برای تعریف مدل

برای این کار نخست از روش مقیاس (scaling) جملات معادلات را بی بعد کرده و ارزش و بزرگی آنها نسبت به هم مقایسه می شوند تا جملات مورد نظر مدل، در معادله باقی بماند. در این تقریب، نخست از مؤلفه قایم اندازه حرکت به تقریب هیدرواستاتیک می رسیم.

(۷)

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = -g$$

این تقریب هر حرکتی را که دارای مقیاس افقی کوچکتر از مقیاس حوضه می باشد حذف می کند مانند امواج سطحی و جبهه های همرفتی. این تقریب با شرایط زیر همراهی دارد :

(۸)

$$\frac{H}{L} \ll 1, \quad \frac{H}{C_s} \ll T$$

دومین تقریب ، تقریب بوزینسک (*Boussinesq*) است که با شرایط غیر قابل تراکم بودن سیال حاصل می شود. در این حالت تغییرات افقی چگالی حذف شده ولی تغییرات قایم آن با جمله گرانی در نظر گرفته می شود. یعنی قسمت واگرایی بردار انتقال جریان حذف شده و تنها قسمت چرخشی آن منظور می گردد.

برای حل معادلات بایستی شرایط مرزی اعمال شود، بدین ترتیب که در مرزهای جامد مانند کف و دیواره های جانبی یک حوضه مؤلفه نرمال بردار سرعت صفر در نظر گرفته می شود (شرط *non-slip*)، لذا  $\psi = 0$ ، که  $\psi$  تابع جریان است. در معادلات شرط مانع صلب یا مرز سخت (*rigid lid*) در نظر گرفته می شوند. یعنی سطح سیال مانند یک مانع صلبی رفتار می کند در این حالت در سطح اقیانوس  $W$  صفر بوده و امواج گرانی خارجی  $(\partial \eta / \partial t = 0)$  حذف می گردند. با در نظر گرفتن سه مؤلفه معادلات نایو-استوکس (*Navier-Stokes*) و معادله پیوستگی، ابتدا از طریق آنالیز مقیاس (*scaling analysis*)، آنها را بدون بعد کرده، شرایط حوضه را اعمال و ترم ها را نسبت به هم تقریب می زنیم. با فرض آنکه عمق حوضه ۱۰ متر و عرض آن ۱۰۰ کیلو متر باشد از معادله پیوستگی خواهیم داشت:

(۹)

$$\frac{H}{L} = \frac{10}{100000} = \frac{1}{10000} \Rightarrow H \ll L, W \ll U$$

بنابراین حوضه مورد نظر ما یک حوضه کم عمق با مقیاس بزرگ بوده و از معادلات آبهای کم عمق تبعیت می کند. لذا با در نظر گرفتن مؤلفه های حرکت خواهیم داشت :

(۱۰)

$$A_x = A_y \equiv A_H$$

با در نظر گرفتن مؤلفه های افقی حرکت به علت کوچکی ترم  $(WU/D)$  نسبت به بقیه ترم ها ، این ترم حذف می شود و سپس ترمهای فرارفتی را نسبت به ترم کوریولیس تقریب می زنیم و شرایط حوضه را اعمال می کنیم . در حوضه مورد نظر سرعت جریان حدوداً  $(cm/s)$  ۱۵-۱۰ می باشد. عدد راسبی (*Rossby number*) نیز به صورت زیر است (از جمله های فرارفتی در مقایسه

با جمله کوریولیس کوچک و قابل حذف است).

$$R_0 = \frac{U}{fL} = 10^{-2} \ll 1 \quad (11)$$

### ۵- حل ریاضی مدل (معادلات حاکم)

مشخصاتی که برای حل معادلات درحوزه

منظور گردیده، مشابه با طرح ارائه شده توسط پدلاسکی

جهت حل معادلات آبهای کم عمق می باشد. که در آن

$h(x, y, t)$  توپوگرافی کف،  $h(x, y, t)$  عمق سیال از

سطح مرجعی در کف تا سطح آزاد آب است لذا عمق لایه

سیال برابر است با:

$$(12)$$

$$H = h(x, y, t) - h_B(x, y)$$

در این بحث محور  $x$  ها در جهت شرق - غرب و محور  $y$

ها در جهت شمال - جنوب و محور  $z$  ها در جهت

بالاست و دانسیته آب ثابت و یکنواخت و سیال غیرلزج با

کفی صلب فرض می شود. ابتدا مؤلفه های افقی حرکت

را در نظر می گیریم:

$$(13)$$

$$\frac{du}{dt} = f.v - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} +$$

$$\left[ A_H \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right]$$

$$(14)$$

$$\frac{dv}{dt} = -f.u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} +$$

$$\left[ A_H \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right]$$

که در آن:

$$(15)$$

$$A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial}{\partial Z} \left( A_z \frac{\partial u}{\partial Z} \right)$$

$$= \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial Z}$$

(۱۶)

$$A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = \frac{\partial}{\partial Z} \left( A_z \frac{\partial v}{\partial Z} \right)$$

$$= \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial Z}$$

می باشند. اینها را در معادله های (۱۳) و (۱۴) قرار می

دهیم و چون حوزه، مدلی کم عمق است تقریب

هیدرواستاتیک صادق خواهد بود. این تقریب شتابهای قائم

ناشی از اثرات شناوری را حذف و از همرفت آزاد طبقات

ناپایدار جلوگیری می کند، همچنین موجب حذف امواج

سطحی و جبهه های داخلی می گردد. لذا حرکت در این

مدل تقریباً یک حرکت افقی خواهد بود. لذا طبق این

مدل، شتابهای فرارفتی در معادلات حذف می شوند.

$$(17)$$

$$-f.v = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial Z}$$

$$(18)$$

$$fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial Z}$$

$$(19)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial Z} = -g$$

$$(20)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

آنگاه برای خطی کردن از معادلات (۱۷) و (۱۸) نسبت به

عمق سیال از  $H$  تا  $\eta$  انتگرال می گیریم. از معادله

هیدرواستاتیک نیز نسبت به عمق انتگرال گرفته و شرایط

سطح را اعمال می کنیم در آن صورت داریم:

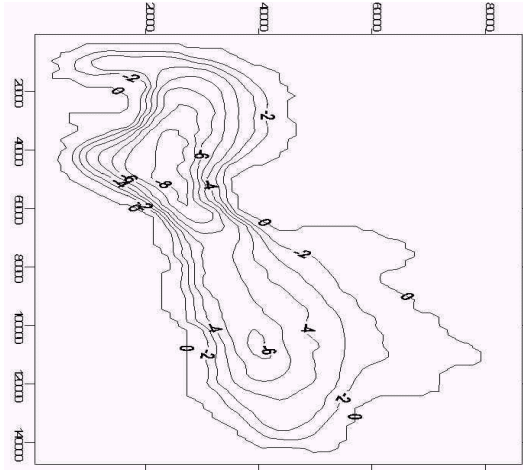
$$(21)$$

$$p = \rho g (\eta + H)$$

از معادله (۲۱) نسبت به  $x$  و  $y$  مشتق گرفته و در معادلات

(۱۷) و (۱۸) قرار می دهیم:

$$|V| \frac{1}{\rho} \tau_b = k|V|v = kvV \quad (22)$$



شکل ۲: نقشه توپوگرافی دریاچه ارومیه

مقدار ثابت سرعت می باشد و  $V$  را با  $(M/H)$  تقریب می گیریم لذا:

$$(28)$$

$$\frac{1}{\rho} \tau_b = \frac{kvM}{H}$$

که همان جمله نشانگر اصطکاک کف در مدل است. این فرمول برای اصطکاک کف نسبتاً بزرگ در آب کم عمق منظور می شود لذا با اصطکاک کف درآبهای عمیق قابل مقایسه می باشد. با توجه به رابطه (۲۷)، انتقال جرم را می توان بصورت جملات تابع جریان  $\Psi$  تعریف کرد:

$$(29)$$

از جاگذاری معادلات (۲۹) در (۲۶) و مرتب کردن جملات خواهیم داشت:

$$(30)$$

$$\begin{aligned} & \nabla^2 \Psi - 2\nabla \Psi \cdot \nabla (\ln H) - \frac{f}{k} J(\Psi, H) \\ & = \frac{1}{k} \{ H \nabla \times [\tau_s] - \nabla H \cdot [\tau_s] \} \end{aligned}$$

که  $J$  عملگر ژاکوبین می باشد [۶ و ۸].

### ۶- روش تحلیل جریان

برای این که عمق و شرایط مرزی، توابع دلخواهی از  $(x, y)$  هستند لذا مجبور هستیم برای حل معادله (۳۰) به

$$\nabla p / \rho = g \cdot \nabla \eta$$

با فرض این که  $M = \int_{-H}^{\eta} V \cdot dz$  بردار انتقال حجم و

عمق دریاچه و  $V = u_i + v_j$  بردار سرعت افقی باشد. ضمناً  $H$  گرانث و  $f$  پارامتر کوریولیس می باشند. به علاوه، جمله  $g\eta \cdot \nabla \eta$  به علت اینکه  $\eta \ll H$  است، حذف شده است، لذا داریم:

$$(23)$$

$$\int_{-H}^{\eta} -fvdz = -f \int_{-H}^{\eta} vdz = -f[M] \quad (24)$$

$$\begin{aligned} - \int_{-H}^{\eta} g \cdot \nabla \eta dz &= -g \int_{-H}^{\eta} \nabla \eta dz \\ &= -g\eta \cdot \nabla \eta - gH \cdot \nabla \eta = -gH \cdot \nabla \eta \end{aligned} \quad (25)$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} dz \Big|_{-H}^{\eta} = \frac{1}{\rho} (\tau_s - \tau_b)$$

که  $\tau_b$  و  $\tau_s$  به ترتیب تنش در سطح و کف می باشند. با مرتب کردن معادلات، معادلات نهایی به صورت زیر درمی آیند:

$$(26)$$

$$-fM = -gH \cdot \nabla \eta + \frac{1}{\rho} (\tau_s - \tau_b) \quad (27)$$

$$\nabla \cdot M = 0$$

از طرف دیگر می دانیم جمله اصطکاک کف  $(\tau_b / \rho)$  برابر با  $k|V|v$  است که  $k$  ضریب اصطکاک سطحی می باشد لذا قانون توان دوم تنش

$$(35) \quad \text{جریان} = \sqrt{U^2 + V^2}$$

$$U = M/H, \quad V = N/H \quad \Rightarrow \text{کل}$$

بدین ترتیب با اعمال ضرایب و مقادیر ثابتی که در معادلات وجود دارند، جهت حل معادلات بدست آمده (معادلات ۳۲ و ۳۳) با برنامه نویسی به زبان C به روش حذفی گوس استفاده شده است. ۵۰ معادله ۵۰ مجهولی بصورت ماتریسی حاصل شد که با حل آنها و با در نظر گرفتن نقشه توپوگرافی دریاچه ارومیه (شکل ۲) برای بادهای غالب (شکل ۳)، نمونه هایی از آنالیز مقادیرتابع جریان در گره های مورد نظر در دریاچه بدست آمد. شکل های (۴) و (۵) و (۶) نمونه هایی از این آنالیز هستند. همان طوری که از این شکل ها ملاحظه می شود در طرفین مسیر میانگذر سلول های گردش جریان آب ناشی از باد تشکیل می یابند. این سلول ها در مکانیسم تولید امواج و اثرات آنها روی سیستم جاده، نقش بسزایی دارد. لازم به توضیح است که اثر جزایر و میانگذر در این مقاله منظور نشده است.

#### ۶- خلاصه و نتایج

۱- موضوع هیدرودینامیک گردش آب دریاچه ارومیه ناشی از جریان باد در جهات مختلف بررسی شده و معادلات حاکم بر این حرکت که بر این معادلات ناویه-استوکس هستند، بدست آمد.  
 ۲- حل معادلات ساده شده پلا استفاده از روش تفاضل های محدود با برنامه نویسی به زبان C تحلیل شده است.  
 ۳- نتایج حاصل مقادیر سرعت های جریان، و جهت آنها و هم چنین شکل تابع جریان را بدست می دهد.

روش های حل عددی متوسل شویم. شبکه تفاضل محدود به کار برده شده در این تحقیق شبکه ای با فواصل مساوی ۱۰ کیلومتر انتخاب شده است. در این حالت در درون دریاچه به ۵۰ نقطه (گره) که مختصات آنها معلوم هستند دسترسی خواهیم داشت. برای حل از روش تفاضل محدود ضمنی استفاده شده است. بر این اساس شکل معادله (۳۰) با تفاضل های مرکزی جایگزین می شود، لذا تفاضل های محدود هم مرتبه معادله (۳۰) به قرار زیر خواهد بود [۷]:

$$\Psi_{i+1,j} \left\{ \frac{1}{(\Delta x)^2} - \frac{A_{i,j}}{2\Delta x} \right\} + \Psi_{i-1,j} \left\{ \frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{A_{i,j}}{2\Delta x} \right\} + \Psi_{i,j+1} \left\{ \frac{1}{(\Delta y)^2} - \frac{B_{i,j}}{2\Delta y} \right\} + \Psi_{i,j-1} \left\{ \frac{1}{(\Delta y)^2} + \frac{B_{i,j}}{2\Delta y} \right\} - 2\Psi_{i,j} \left\{ \frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta y)^2} \right\} = F_{i,j} \quad (31)$$

که  $A_{i,j}$  و  $B_{i,j}$  و  $F_{i,j}$  به قرار زیر می باشند:

$$A_{i,j} \equiv \left\{ \frac{2}{H} \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{f}{k} \frac{\partial H}{\partial x} \right\}_{i,j} \quad \text{و} \quad B_{i,j} \equiv \left\{ \frac{2}{H} \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{f}{k} \frac{\partial H}{\partial y} \right\}_{i,j} \quad (32)$$

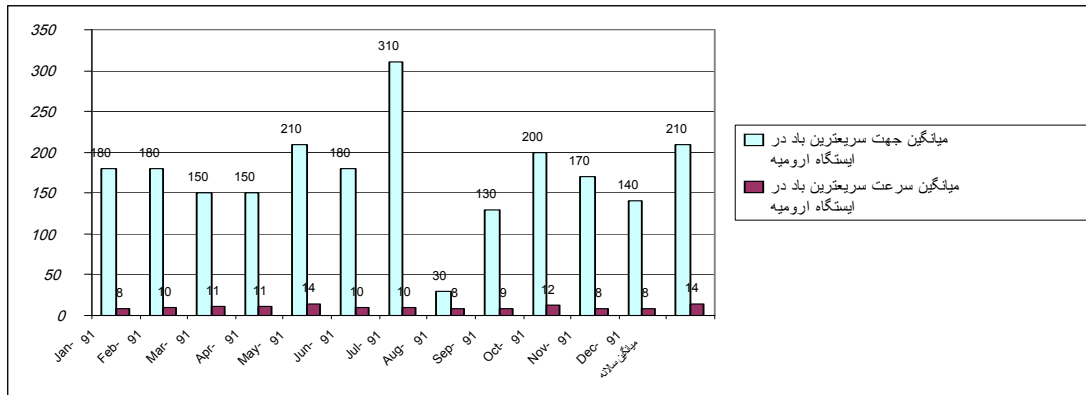
$$F_{i,j} \equiv \frac{H}{k} \left\{ \left( \frac{\partial \tau_{sy}}{\partial x} - \frac{\partial \tau_{sx}}{\partial y} \right) + \frac{1}{H} \left( \tau_{sx} \frac{\partial H}{\partial y} - \tau_{sy} \frac{\partial H}{\partial x} \right) \right\} \quad (33)$$

بعد از محاسبه توابع جریان، مولفه های انتقال جرم از عبارات زیر حاصل می شوند:

$$\text{انتقال جرم} = \sqrt{M^2 + N^2} \quad (34)$$

$$M = -\frac{\partial \Psi}{\partial y}, \quad N = \frac{\partial \Psi}{\partial x} \Rightarrow$$

و مولفه های سرعت و جریان کل برابر است با:



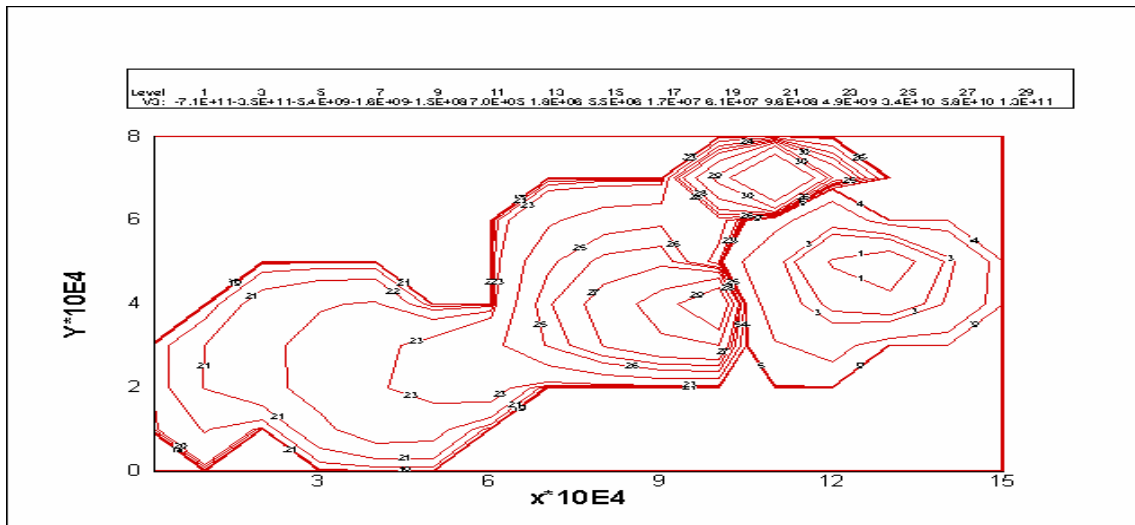
شکل ۳: نمونه ای از نتایج آنالیز جهت و سرعت باد در دریاچه ارومیه.

۴- نتایج اولیه نشان می دهد که سلول های کوچک و بزرگ گرداب های ناشی از جریان رانش باد بوجود می آیند که می توانند آثار نامطلوبی روی سازه های متعدد میانگذر، دامنه های حفاظتی و از جمله جابجائی املاح دریاچه و ایجاد فرسایش نماید.

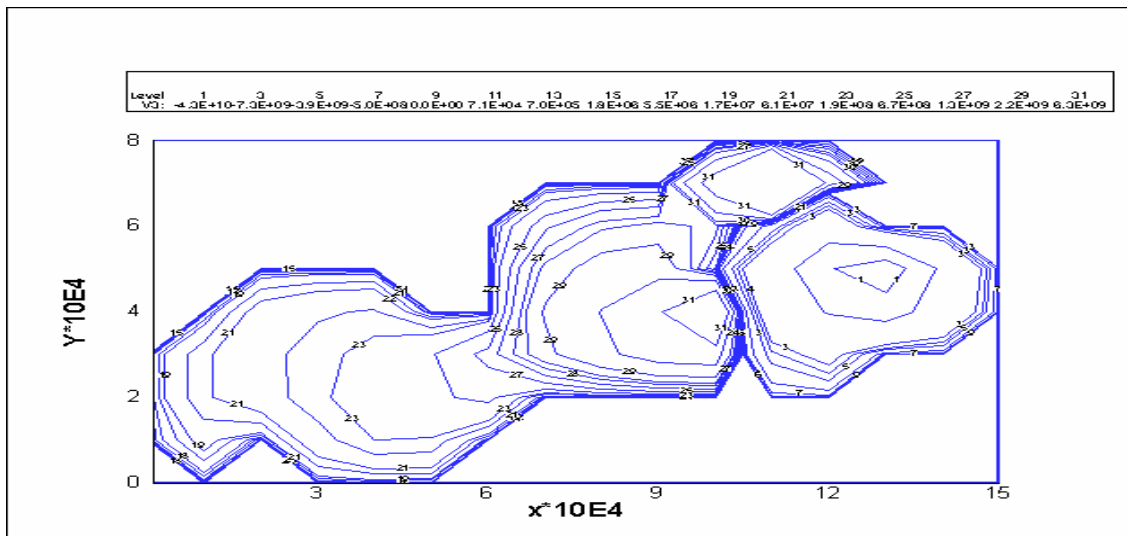
۵- به علت سنگین بودن آب دریاچه ارومیه مقدار ضریب اصطکاک سطحی در جهت الگوهای توابع جریان و سرعت ها اثر چندانی ندارد.

۶- پایین بودن سرعت بادهای غالب در جهات مختلف (در حدود  $3m/s$ ) در تنش های ایجاد شده در سطح آب تأثیر چندانی در الگوهای جریان نمی گذارد.

۷- پیشنهاد می شود جریان سنجی دقیق در نقاط و اعماق مختلف همراه با ثبت پارامترهای فیزیکی شیمیایی در آن نقاط برای مطالعات دقیق تر ضروری است، ضمناً کلیه عوامل محیطی و جوی (مثلاً اثر سیلاب رودخانه ها و تغییرات دمایی و وجود بزرگراه و ...) به عنوان شرایط مرزی به صورت همزمان در مدل در نظر گرفته شوند.



شکل ۴: نمونه ای از نتایج آنالیز تابع جریان در دریاچه ارومیه ،  
 ناشی از باد شمال شرقی با سرعت ۳ m/s و  $k=0.۳۵$



شکل ۵: نمونه ای از نتایج آنالیز تابع جریان در دریاچه ارومیه ،  
 ناشی از باد جنوب غربی با سرعت ۳ m/s و  $k=0.۷$



## ۸- مراجع

- ۱- ابراری، رسول، ۱۳۸۱. مطالعه گردش آب در دریاچه ارومیه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۲- محمدی، میر علی، ۱۳۸۰. مجموعه مقالات اولین همایش دریاچه ارومیه، دانشکده فنی دانشگاه ارومیه، شهریور ماه.

- 3- Birchfield, G. E, 1972. Theoretical Aspects of Wind-Driven Currents in Sea or Lake of Variable Depth With No Horizontal Mixing.
- 4- Csanady, G.T, 1973. Wind – Induced Barotropic Motions in Long Lakes,.
- 5- Frank D. Malone, 1968. An Analysis of Current Measurement in Lake Michigan.
- 6- Pedlosky, J., 1986. Geophysical Fluid Dynamics, 2nd. Ed., New York.
- 7- Rao D. B. and Murty T. S., 1970. Calculation of the Steady State Wind-driven Circulations in Lake Ontario; J. of Arc. Met. Geoph. Biokl. Ser. A., 19, 195-210, Canada.
- 8- Yan, Y., 1987. Numerical Modeling of Current and Wave Interactions of an Inletbeach System. *PhD* Dissertation, University of Florida.

## Water circulation due to the wind driven at Urmia Lake

### **Rasoul Abrari**

MSC. In Ocean Physics, Faculty of Ocean Science, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.

### **Mirali Mohammadi**

Dept. of Civil Eng., Faculty of Eng., Urmia University, Urmia, Iran. (full time)  
Faculty of Eng., Islamic Azad University, Khoy Unit, Khoy, Iran. (part time)  
m.mohammadi@mail.urmia.ac.ir

### **Mohammadreza Banazadeh**

Faculty of Ocean Science, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.

Urmia lake consists of such specific encyclopedias as natural, hydrochemical, hydrodynamics, geology and environmental, where they recognize it from the other lakes around the world. Therefore, for the revenue operation of this lake, it is necessary to understand the mentioned specifications appropriately. Regards to the importance of the lake road project, it requires to evaluate those specifications. This paper examines the hydrodynamics encyclopedia of the Urmia lake. It is accountable not only for the transport of sediment and sludge, but also it has extrem effects on the structures and related elements in the lake. Using the C programming language, the simplified Navier-Stokes equations have been solved numerically. On the basis of the results, it can be found that the water circulation includes two circulation cells located at each sides of the constructed freeway, which is responsible for the transportation of a higher volume of sediments. In comparison with the constant water depth at the lake, flow potential functions and velocities due to the dominant winds stress, has been found to have some similar patterns, except in their magnitude, quantity and direction.

**Keywords:** Urmia Lake, water circulation, wind driven, Navier-Stokes equations, numerical solution.