

مهندسی سازه

- بررسی عددی تاثیر ارتفاع تاج سرریز بر الگوی جریان در شرایط تشکیل پرش هیدرولیکی در امتداد سرریزهای جانبی در کانال های روباز
نگار باقری، محمد سعید ترنجی، افشین اقبال زاده
- تحلیل پی و بدنه سدهای خاکی در حالت استاتیکی و شبه استاتیکی با استفاده از مدل های عددی
مسعود فتاحیان، میکائیل یوسف زاده، یوسف کوه زادیان
- ارزیابی خرابی لرزه ای سد بتنی دوقوسی با استفاده از روش المان محدود توسعه یافته و مدل ترک چسبنده بتن
مطالعه موردی : سد کارون III | سجاد پیربوداقي، رضا تاري نژاد، محمدتقي اعلمي
- مروری بر روشهای حفاظت از محیط زیست در پروژه های سد سازی
سید حسین مهاجری، سید محمدامین نجیبی، مهدی شهرکی
- بررسی تاثیر بستن گذرگاه شهید کلانتری بر تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده از مدل هیدرودینامیک دوبعدی MOHID Water
حمید حسن رزی، مهدی مظاهری، جمال محمد ولی سامانی، مارکوس کارواجالینو فرناندز
- حساسیت سنجی پارامترهای دینامیکی تونل های انتقال آب سد تلمبه ذخیره ای با استفاده از روش دیمتل
فاطمه مددی، حمیدرضا وثوقی فر

Journal of Engineering & Construction Management



Vol. 1 , No. 2
Summer 2016

- **Numerical investigation of the impact on the flow patterns in the spillway crest elevation hydraulic jump along the side weirs in open channel**
Negar Bagheri, Mohammed Saeed Toranji, Afshin Eghbalzadeh
- **Analysis of foundation and fuselage of dams in static and quasi-static by using numerical models**
Masoud Fatahian, Michael Yousofzadeh, Yousef koohzadian
- **Seismic damage assessment of concrete dam two arch with using developed the finite element method and leave the sticky concrete model**
Case study: Karun III | Sajjad pirboudaghi, Reza Tarinejad, Mohammad Taghi Aalami
- **A review of methods to protect the environment in dam projects**
Seyyed Hossein mohajerry, Seyyed Mohammad Amin najibi, mahdi shahraki
- **Review of the effect closing martyr kalantary station on level of water lake with using two-dimensional hydrodynamic model MOHID Water**
Hamid Hasan Razi, Mahdi Mazahery, Jamal Mohammadvali Samani
Marcus Carol Jalyn Fernandez
- **Sensitivity analysis of dynamic parameters of pumped storage dams, water transfer tunnels using DEMATEL method**
Fatemeh Madadi, Hamidreza Vosughifar

الحمد لله



فصلنامه علمی تخصصی مهندسی و مدیریت ساخت

فصلنامه علمی تخصصی مهندسی و مدیریت ساخت

صاحب امتیاز و مدیر مسئول: دکتر روح اله طاهرخانی

سرمدبیر: دکتر محمد علی نکوئی

جانشین سرمدبیر: دکتر حمید رضا کاظم پور

مدیر اجرایی: ساره رودباری

همکاران علمی: دکتر روح اله طاهرخانی، دکتر رضا ضیائی موید، دکتر امیر عباس رصافی،
دکتر محمد مهدی معماریپور، دکتر مهدی مهدی خانی، دکتر محمد علی نکوئی،
دکتر حمید رضا کاظم پور، دکتر فرزین چاره جو، دکتر حمیدرضا عباسیان جهرمی،
دکتر ناصر شمس کیا

همکاران اجرایی: امیر حسین حاجی بابایی، اشکان کاظمی، ارغوان اکبریه، مریم تقی زاده،
پرستو نصری سیمپاری، هدیه کشاورز

طراحی: مریم حدادی

صفحه بندی: ساره رودباری

ویراستار فارسی: زهرا شعرباغچگی

ویراستار انگلیسی: سمیه میرزا بابایی

شمارگان: ۱۰۰۰

قیمت: ۲۰۰۰۰ تومان

نشانی: تهران، بلوار آیت اله کاشانی، گلپای دوم، کوچه بنفشه، پلاک ۵

سندوق پستی: ۱۴۷۱۸۳۶۴۷۶۵

تلفن و نمابر: ۰۲۱۴۴۰۹۳۲۵۰

وبگاه: www.jecm.ir

تقدیر و تشکر: استاد عباس رحمانی (استاد خوشنویسی و عضو انجمن خوشنویسان ایران) جهت کتابت لوگوی فارسی فصلنامه

فهرست

- ۶ بررسی عددی تاثیر ارتفاع تاج سرریز بر الگوی جریان در شرایط تشکیل
پرش هیدرولیکی در امتداد سرریزهای جانبی در کانال های روباز
- ۱۱ تحلیل پی و بدنه سدهای خاکی در حالت استاتیکی و شبه استاتیکی با استفاده.....
از مدل های عددی
- ۱۵ ارزیابی خرابی لرزه ای سد بتنی دوقوسی با استفاده از روش المان محدود
توسعه یافته و مدل ترک چسبنده بتن (مطالعه موردی: سد کارون III)
- ۲۰ مروری بر روش های حفاظت از محیط زیست در پروژه های سد سازی
از مدل هیدرودینامیک دوبعدی MOHID Water
- ۲۴ بررسی تاثیر بستن گذرگاه شهید کلانتری بر تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده
از مدل هیدرودینامیک دوبعدی MOHID Water
- ۳۰ حساسیت سنجی پارامترهای دینامیکی تونل های انتقال آب سد تلمبه ذخیره ای
با استفاده از روش دیمتل

بررسی عددی تاثیر ارتفاع تاج سرریز بر الگوی جریان در شرایط تشکیل پرش هیدرولیکی در امتداد سرریزهای جانبی در کانال های روباز



فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵

نویسنده مسئول: نگار باقری

آدرس ایمیل:

negarbagheri125@gmail.com

نگار باقری*

دانش آموخته ی کارشناسی ارشد عمران- آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی

محمد سعید ترنجی

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی

افشین اقبال زاده

استادیار گروه عمران- آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی

چکیده:

سرریزهای جانبی یکی از سازه های هیدرولیکی کاربردی و مهم در سیستم های کنترل و هدایت آب هستند. جریان خروجی از سرریز جانبی سه بعدی است که باعث می شود این سرریزها هیدرولیک پیچیده ای داشته باشند. تحت شرایط خاصی وجود سرریز جانبی موجب تشکیل پرش هیدرولیکی در کانال اصلی می شود که این حالت کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این مقاله پس از مدل سازی سه بعدی پرش هیدرولیکی در سرریزهای جانبی با استفاده از نرم افزار ۳D-FLOW، اعتبار سنجی مدل عددی با استفاده از داده های آزمایشگاهی صورت گرفته و تاثیر ارتفاع تاج سرریز بر خصوصیات پرش هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با کاهش ارتفاع تاج سرریز، مقدار عدد فرود در مقطع اولیه پرش افزایش می یابد که منجر به قوی تر شدن پرش هیدرولیکی می شود. همچنین با کاهش ارتفاع تاج سرریز، میزان نوسانات سطح آب و ارتفاع پرش هیدرولیکی افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: سرریز جانبی، پرش هیدرولیکی، ۳D-FLOW، جریان متغیر مکانی، ارتفاع تاج سرریز

Numerical investigation of the impact on the flow patterns in the spillway crest elevation hydraulic jump along the side weirs in open channel

Negar Bagheri*

M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Razi, Iran

Mohammed Saeed Toranji

M.Sc. Student of Water Resources Management Engineering, Faculty of Engineering, University of Razi, Iran

Afshin Eghbalzadeh

Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Engineering, University of Razi



V. 01 No. 02 - Summer
2016

Corresponding author:

Negar Bagheri

Email address:

negarbagheri125@gmail.com

آب ماده ای حیاتی است که وجود آن در هر مکانی باعث حیات و زندگی می گردد و بنابراین شناخت منابع آب و چگونگی انتقال آنها جایگاه ویژه ای در علم هیدرولیک دارد. سرریزهای جانبی یکی از سازه های انحراف جریان هستند که در حاشیه کانالها ساخته شده و برای اهداف گوناگونی مانند انحراف آب مازاد و یا آبیگری در شبکه های آبیاری، زهکشی و سیستمهای فاضلاب استفاده می گردند. در کل میتوان سه نوع از جریان را در مقطع سرریز جانبی مشاهده کرد: جریان زیر بحرانی: در این حالت در کل طول سرریز جانبی جریان زیر بحرانی است. سطح آب از انتهای بالادست به سمت انتهای پایین دست سرریز به آرامی افزایش می یابد. این حالت معمولاً در کانالهای یکنواخت و یا کانالهای با شیب کم رخ می دهد.

جریان فوق بحرانی: در این حالت در کل طول سرریز جانبی جریان فوق بحرانی است، ازینرو سطح آب از انتهای بالادست سرریز به سمت انتهای پایین دست آن افت می کند. این حالت معمولاً در کانالهای با شیب تند رخ می دهد. جریان مرکب: این حالت ترکیبی از دو جریان ذکر شده در بالاست. در ابتدا جریان فوق بحرانی بوده و باعث کاهش سطح آزاد آب در طول سرریز جانبی می شود. این حالت با تشکیل یک پرش در نتیجه انتقال به جریان زیر بحرانی در مقطع پایین دست ادامه می یابد [۱].

تاکنون تحقیقات بسیاری بر روی دو حالت اول صورت گرفته، اما به حالت سوم کمتر پرداخته شده است. تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی بسیاری بر روی سرریزهای جانبی مستطیلی در دو حالت جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی در کل طول سرریز انجام شده است. دی ماریچی (۱۹۳۴) برای اولین بار با صرف نظر از اصطکاک و افت انرژی در طول سرریز و حل معادله جریان متغیر مکانی با کاهش دبی، ضریب دبی دی ماریچی را ارائه داد [۲]. سابرامانیا و آواستی (۱۹۷۲) با بررسی آزمایشگاهی جریان بر روی سرریزهای جانبی لبه تیز در کانال مستطیلی و شناسایی پارامترهای موثر بر ضریب دبی، عبارتی را برای تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی با ارتفاع صفر، بر حسب عدد فرود بالادست کانال اصلی ارائه دادند [۳]. نادسامورتی و تامسون (۱۹۷۲) روابطی که توسط سابرامانیا و آواستی ارائه شده بود را مورد بررسی قرار دادند و رابطه ی جدیدی برای ضریب دبی بدست آوردند [۴]. هاگر (۱۹۸۷) با بررسی آزمایشگاهی، فرمول جدیدی برای سرریزهای جانبی با ارتفاع تاج صفر ارائه داد [۵]. سینگ و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند که ضریب شدت جریان علاوه بر عدد فرود بالادست به نسبت ارتفاع سرریز به عمق جریان بالادست نیز بستگی دارد [۶]. برقی و همکاران (۱۹۹۹) با بررسی های آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند که فرض دی ماریچی مبنی بر ثابت بودن انرژی ویژه در طول سرریز در جریان زیر بحرانی درست بوده و شیب کف کانال نیز در این نوع جریان قابل صرف نظر کردن است [۷]. سامانی (۱۳۸۴) معادلات حاکم بر جریان متغیر مکانی با کاهش دبی را با استفاده از روش رانج کوتا مرتبه چهارم حل کرد و محل پرش هیدرولیکی را با استفاده از تعادل مومنتم قبل و بعد از پرش به دست آورد. همچنین حل عددی کامل معادلات پیوستگی و اندازه حرکت در کانالهای منشوری با سرریز جانبی را در شرایط با و بدون پرش هیدرولیکی ارائه داد [۸]. پاتیرانا و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی لبه تیز در حالت جریان فوق بحرانی با استفاده از داده های آزمایشگاهی پرداختند. آنها با فرض ثابت بودن انرژی ویژه در کانال اصلی و با استفاده از تحلیلهای رگرسیونی چندگانه به بررسی پارامترهای بدون بعد مختلف پرداختند [۹]. دورگاران و پیلاپی (۲۰۰۸) به مطالعه جریان در سرریزهای جانبی مستطیلی در شرایط جریان فوق بحرانی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که اصل مومنتم بسیار مناسبتر از اصل انرژی برای بررسی جریان متغیر مکانی در شرایط جریان فوق بحرانی است [۱۰]. مانگاروکار (۲۰۱۰) توزیع سرعت، ناحیه ی سکون، ناحیه جدایی و پروفیل سطح آب در سرریز جانبی مستطیلی با ارتفاع صفر را در کانال افقی به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داد [۱]. امیرافلو و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی آزمایشگاهی بیان داشتند که در معادلات ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی لبه تیز باید اثر پارامترهای نسبت طول سرریز به عرض کانال اصلی و ارتفاع بالادست جریان را نیز در نظر گرفت [۱۱]. باقری و حیدرپور (۲۰۱۲) به بررسی آزمایشگاهی مولفه های مختلف سرعت و توزیع دبی موضعی و تغییرات زاویه خروجی جت جریان روی تاج و مجاورت سرریز جانبی مستطیلی پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که ناحیه سکون در انتهای سرریز جانبی

رخ می دهد [۱۲]. تعدادی از محققین نیز با استفاده از شبیه سازی عددی، الگوی جریان در سرریز جانبی مستطیلی را مورد مطالعه قرار دادند. تدین (۲۰۰۹) مدلی سه بعدی با مدل انتقال تنش رینولدز RSM و طرح VOF را برای به دست آوردن دبی جریان، پروفیل سطح آزاد و توزیع سرعت در سرریز جانبی به کار برد [۱۳]. مانگاروکار (۲۰۱۰) سرریز جانبی مستطیلی با ارتفاع صفر را به صورت سه بعدی در ANSYS ۱۲ با استفاده از روش VOF و مدل آشفتگی k-ε RNG مدل سازی کرد و نتیجه گرفت که مدل آشفتگی k-ε RNG در پیش بینی محل نقطه اتصال مجدد برای جریان سرریز جانبی ناموفق است [۱]. محمودی نیا و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی عددی اثر عدد فرود بر سطح آزاد جریان در مقطع سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش عدد فرود، نقطه ی ایستایی به سمت بالادست و ناحیه ی جدایی به سمت انتهای پایین دست سرریز جانبی حرکت می کند [۱۴]. مطالعات محدودی هم به صورت آزمایشگاهی در ارتباط با پرش هیدرولیکی در سرریزهای جانبی انجام شده است. قبادیان (۱۳۹۰) با بررسی آزمایشگاهی جریان عبوری از سرریز جانبی در شرایط وقوع پرش هیدرولیکی مدلی یک بعدی ارائه داد که قادر بود موقعیت پرش، دبی عبوری از سرریز و پروفیل سطح آزاد را محاسبه کند [۱۵]. محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) به بررسی آزمایشگاهی پروفیل سطح آب و ضریب تخلیه سرریز جانبی در شرایط وقوع پرش هیدرولیکی پرداخته و رابطه ای برای تعیین شکل پروفیل سطح آب در امتداد سرریز جانبی ارائه دادند [۱۶]. بر اساس اطلاعات نویسندگان تاکنون تاثیر ارتفاع تاج سرریز بر پرش هیدرولیکی تشکیل شده در امتداد سرریزهای جانبی به صورت عددی مورد بررسی قرار نگرفته است. در تحقیق حاضر با استفاده از نرم افزار ۳D-FLOW، تاثیر تغییر ارتفاع تاج سرریز بر پرش هیدرولیکی تشکیل شده در امتداد سرریز جانبی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان جریان شامل معادله پیوستگی و معادلات متوسط گیری شده ناویر استوکس برای سیال غیرقابل تراکم بصورت زیر می باشند:

$$V_F \frac{\partial \bar{n}}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \bar{n} x)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho \bar{n} y)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho \bar{n} z)}{\partial z} = R_{SOR} \quad (۱)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + \bar{n} y \frac{\partial u}{\partial y} + \bar{n} z \frac{\partial u}{\partial z}) = -\frac{1}{\bar{n}} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x \quad (۲)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + \bar{n} y \frac{\partial v}{\partial y} + \bar{n} z \frac{\partial v}{\partial z}) = -\frac{1}{\bar{n}} \frac{\partial P}{\partial y} + G_y + f_y \quad (۳)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + \bar{n} y \frac{\partial w}{\partial y} + \bar{n} z \frac{\partial w}{\partial z}) = -\frac{1}{\bar{n}} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z \quad (۴)$$

در معادلات فوق (u, v, w) مولفه های سرعت، (Ax, Ay, Az) مساحت کسری محیط به جریان، (Gx, Gy, Gz) نیروهای گرانشی و (fx, fy, fz) شتاب های ناشی از لزجت در راستاهای (x, y, z) هستند.

همچنین P فشار، ρ چگالی سیال، VF کسری از حجم مرتبط با جریان و RSOR ترم چشمه می باشند. در این مقاله مدل آشفتگی k- ϵ RNG به منظور مدلسازی آشفتگی استفاده شده است. این مدل بدلیل دقت بالا در شبیه سازی جریانهای آشفته با شدت کم و نواحی با برش بالا و همچنین عملکرد بهتر نسبت به مدل آشفتگی k- ϵ استاندارد استفاده شده است [۱۷]. برای مدلسازی تغییرات پروفیل سطح آب از روش VOF استفاده شده است. برای تعیین سطح آزاد، معادله انتقال جز حجم سیال در یک سلول، F، که به صورت زیر می باشد، حل میشود [۱۸].

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ \left(\frac{\partial}{\partial x} (FuA_x) \right) + \left(\frac{\partial}{\partial y} (FvA_y) \right) + \left(\frac{\partial}{\partial z} (FwA_z) \right) \right\} = 0 \quad (5)$$

۲-۲- مدل آزمایشگاهی و میدان محاسباتی

در این مقاله جهت اعتبار سنجی مدل شبیه سازی شده از نتایج آزمایشگاهی محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) استفاده شده است. این آزمایشات در یکی از کانالهای مستطیلی فلزی شیشه ای آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تبریز با طول ۶ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۵ متر انجام شده اند. دبی جریان ورودی برابر ۴۰ لیتر بر ثانیه و شرایط جریان در بالادست سرریز جانبی زیر بحرانی است. ابتدای سرریز در فاصله ۲/۷ متری از ابتدای کانال بوده و طول آن ۰/۸ متر و ارتفاع تاج از کف کانال ۰/۲۵ متر بود.

در مدل عددی میدان محاسباتی شامل کانال اصلی با طول ۶، عرض ۰/۸ و ارتفاع ۰/۱۵ متر و کانال جانبی با طول ۱، عرض ۰/۵ و ارتفاع ۰/۱۵ متر در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن این کانال جانبی، یکی از شروط مرزی در پایین دست آن تعریف شده و دیگر نیازی به تعریف شرط مرزی در محل سرریز وجود ندارد. طول شبکه محاسباتی برابر طول کانال اصلی و عرض آن معادل مجموع عرض کانال اصلی و طول کانال جانبی می باشد. برای شبکه بندی میدان از یک شبکه بندی منظم و ساختار یافته استفاده و به علت تغییرات شدید مشخصات جریان در اطراف سرریز جانبی در این ناحیه از شبکه بندی ریزتری استفاده شده است. الگوی شبکه بندی در شکل ۱ و تعداد گره های مورد استفاده در راستاهای مختلف در جدول ۱ نشان داده شده اند.

محدوده شبکه بندی	تعداد گره ها در راستای X	تعداد گره ها در راستای Y	تعداد گره ها در راستای Z
کانال اصلی	۳۸۰	۷۸	۲۲
کانال جانبی	۹۷	۳۵	۲۲

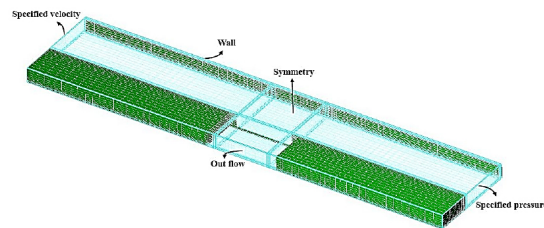
محدوده مکانی (UTM-70)	۵۵۱۹۰۰، ۵۰۳۳۶۰، ۵۰۹۰۰۰۰	۵۵۱۹۰۰، ۵۰۳۳۶۰، ۵۰۹۰۰۰۰
محدوده مکانی (WGS-84)	(۲۸°۱۶'۵۰" N ۵۲°۱۳'۵۰" E)	(۲۸°۱۶'۵۰" N ۵۲°۱۳'۵۰" E)
طول و عرض محدوده مدلسازی	۹۰۵ m × ۹۰۵ m	۹۰۵ m × ۹۰۵ m
محدوده زمانی (تقریب شمسی)	از ۱۳۹۵/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۵/۰۳/۳۱	از ۱۳۹۵/۰۳/۳۱ تا ۱۳۹۵/۰۵/۰۸
محدوده زمانی (تقریب جهانی)	از ۱۳۹۵/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۵/۰۳/۳۱	از ۱۳۹۵/۰۳/۳۱ تا ۱۳۹۵/۰۵/۰۸

شکل ۱: الگوی شبکه بندی میدان محاسباتی (الف) نمای سه بعدی (ب) پلان (ج) مقطع

۳-۲- شرایط مرزی

شرایط مرزی مدل عددی باید طوری انتخاب شوند که قادر باشند مدل آزمایشگاهی را به خوبی شبیه سازی نمایند. به همین منظور در مرز

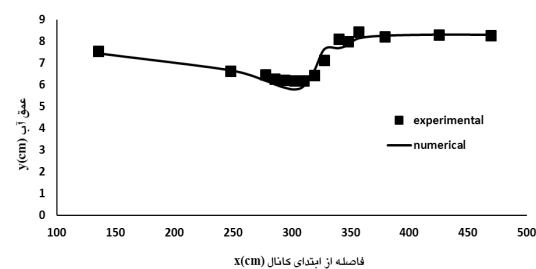
ورودی و بالادست کانال اصلی از شرط مرزی سرعت مشخص، در مرز خروجی پایین دست کانال اصلی از شرط مرزی فشار مشخص، در کف و دیواره کانال اصلی شرط مرزی دیواره، در انتهای کانال جانبی در پایین دست سرریز جانبی از شرط مرزی جریان خروجی و برای سطح آزاد از شرط مرزی تقارن استفاده شد. در شرط مرزی تقارن اصطکاک و تغییرات زمانی و مکانی کلیه پارامترها صفر می باشد. همچنین در شرط مرزی دیواره، شرط عدم لغزش استفاده شده و اصطکاک ناچیز در نظر گرفته می شود، بنابراین در مرز دیواره هیچ زبری اعمال نشده است. نحوه ی اعمال شرایط مرزی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: شرایط مرزی اعمال شده بر مدل عددی

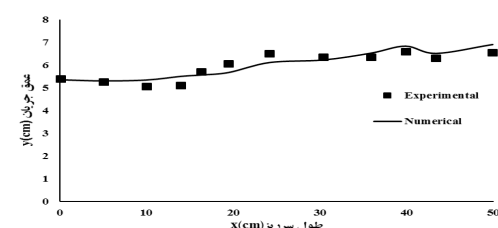
۳-نتایج و بحث

در شکل ۳ نتایج پروفیل سطح آزاد شبیه سازی شده با نتایج آزمایشگاهی محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) در خط مرکزی کانال مقایسه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، نتایج آزمایشگاهی و عددی تطابق مناسبی با هم دارند. با توجه به شکل در کانال اصلی پرش هیدرولیکی رخ داده که محل شروع آن در حدود ۳ متری از ورودی کانال است.



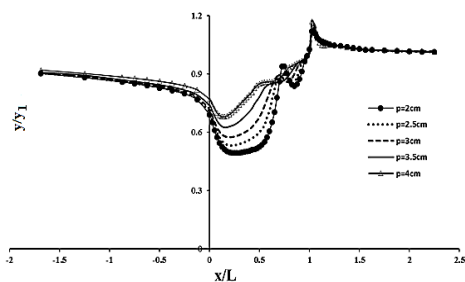
شکل ۳: مقایسه نتایج شبیه-سازی سطح آزاد با نتایج آزمایشگاهی محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) در خط مرکزی کانال

معیارهای خطای APE و RMSE در شبیه سازی سطح آزاد به ترتیب برابر ۳/۰۲ درصد و ۰/۲۷۵ محاسبه شدند که نمایانگر تطابق مناسب بین مدل عددی و آزمایشگاهی می باشد. همچنین نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی قبادیان (۱۳۹۰) برای سطح آزاد و دبی خروجی از سرریز جانبی مورد اعتبارسنجی قرار گرفتند. در شکل ۴ نتایج پروفیل سطح آزاد شبیه سازی شده با نتایج آزمایشگاهی قبادیان (۱۳۹۰) در خط مرکزی کانال مقایسه شده است. معیارهای خطای APE و RMSE در شبیه سازی سطح آزاد به ترتیب برابر ۳/۹۴ درصد و ۰/۲۶۳ محاسبه شدند.



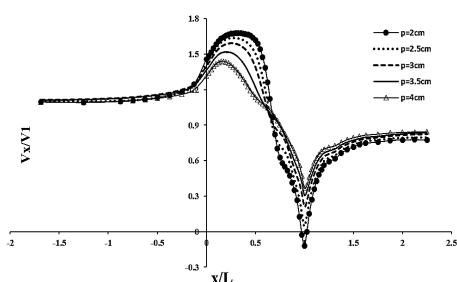
شکل ۴: مقایسه نتایج شبیه-سازی سطح آزاد با نتایج آزمایشگاهی قبادیان (۱۳۹۰) در خط مرکزی کانال





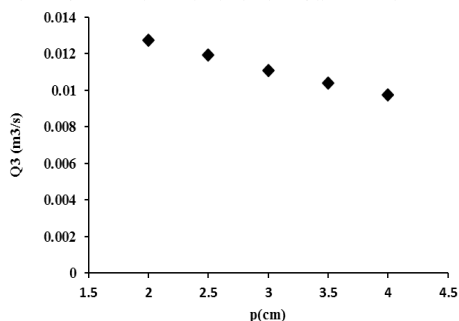
شکل ۶: پروفیل طولی سطح آزاد جریان در مجاورت سرریز برای ارتفاع تاج های متفاوت

شکل ۷ توزیع سرعت طولی در مجاورت سرریز را برای ارتفاع تاج های متفاوت نشان می دهد. با کاهش ارتفاع تاج سرریز جانبی به دلیل افزایش دبی عبوری از روی سرریز جانبی، سرعت طولی ماکزیمم افزایش و سرعت طولی مینیمم کاهش می یابد که در نتیجه میزان کاهش سرعت طولی در طول سرریز جانبی بیشتر می باشد. با کاهش ارتفاع تاج سرریز، مقدار ماکزیمم سرعت طولی در ابتدای پرش بیشتر شده و به سمت پایین دست حرکت می کند. همچنین در ارتفاع تاج ۲ سانتیمتر، سرعت طولی در انتهای مجاورت سرریز جانبی به علت جریان برگشتی به طرف سرریز منفی می شود. همچنین نتایج کمی نشان می دهند که با افزایش ۲۰ درصدی ارتفاع سرریز آزمایشگاهی، مقدار ماکزیمم سرعت طولی در طول سرریز جانبی ۱۹/۶۵ درصد کاهش می یابد و با کاهش ۲۰ درصدی ارتفاع سرریز آزمایشگاهی، مقدار ماکزیمم سرعت جانبی ۱۴/۶ درصد افزایش می یابد که تغییرات در این حالت در مقایسه با حالتی که ارتفاع تاج ۲۰ درصد افزایش می یابد، کمتر است.



شکل ۷: توزیع سرعت طولی در مجاورت سرریز جانبی برای ارتفاع تاج های متفاوت

شکل ۸ نمودار تغییرات دبی خروجی از سرریز جانبی در برابر ارتفاع تاج های مختلف را نشان می دهد. با کاهش ارتفاع تاج سرریز، همانگونه که انتظار میرود به دلیل منحرف شدن بیشتر جریان به طرف سرریز جانبی، دبی عبوری از سرریز افزایش می یابد. محل شروع پرش هیدرولیکی در شکل ۹ نشان داده شده است. با کاهش ارتفاع تاج سرریز محل شروع پرش هیدرولیکی به سمت پایین دست حرکت می کند. به طوریکه در ارتفاع تاج ۴ سانتیمتر محل شروع پرش هیدرولیکی در یک هشتم

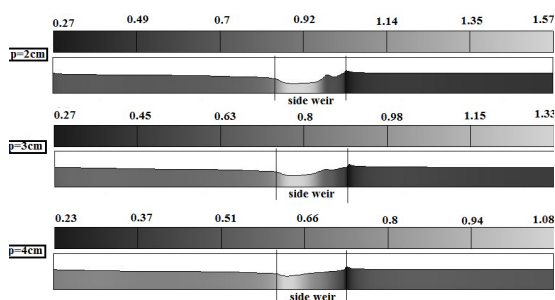


همچنین در جدول ۲ نتایج حاصل از دبی خروجی از سرریز جانبی در حالت آزمایشگاهی و همچنین مدل سازی عددی ارائه شده است. خطای حاصل از برآورد دبی برابر ۱۲/۵۸ بود. پس از اطمینان از صحت عملکرد مدل عددی، میتوان ازین مدل برای به دست آوردن داده هایی که برداشت آنها در آزمایشگاه کاری پرهزینه و در برخی مواقع زمان بر می باشد، بهره برد

جدول ۲: دبی خروجی از سرریز در حالت آزمایشگاهی و عددی

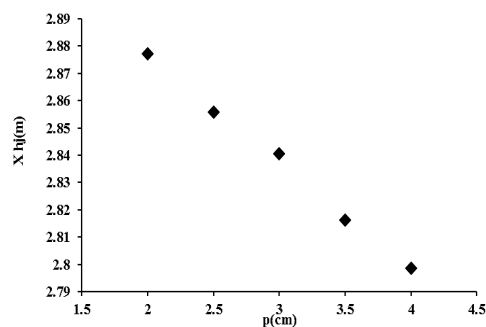
مدل	دبی خروجی از سرریز (lit/s)
آزمایشگاهی	۱/۵۱
عددی	۱/۷۰

یکی از پارامترهایی که بر هیدرولیک جریان عبوری از سرریزهای جانبی نقش دارد، ارتفاع تاج سرریز است. انتخاب مناسب این پارامتر می تواند کارایی سرریز جانبی را افزایش دهد و به همین دلیل در این بخش، با تغییر ارتفاع تاج سرریز جانبی، تأثیرات ارتفاع تاج سرریز بر الگوی جریان در حالت تشکیل پرش هیدرولیکی در امتداد سرریز جانبی با ثابت نگه داشتن شرایط هیدرولیکی و شرایط مرزی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور، ارتفاع تاجهای ۲، ۳، ۴ و ۵ سانتیمتر مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۵ نشان دهنده تغییرات عدد فرود در مجاورت سرریز جانبی برای ارتفاع تاجهای متغیر در صفحه موازی سرریز جانبی است. در هر پنج حالت پرش هیدرولیکی رخ داده و با توجه به تقسیم بندی های پرش هیدرولیکی بر اساس عدد فرود در مقطع اولیه پرش، پرش ها از نوع پرش هیدرولیکی موجی به حساب می آیند. همچنین مشاهده می شود که با کاهش ارتفاع تاج سرریز، مقدار عدد فرود در مقطع اولیه پرش افزایش می یابد که منجر به قوی تر شدن پرش هیدرولیکی می شود. به نظر می رسد که اگر ارتفاع تاج سرریز از ۴ سانتیمتر بیشتر شود، جریان کاملاً زیر بحرانی شده و پرش هیدرولیکی حذف می گردد.



شکل ۵: تغییرات عدد فرود در صفحه X-Z و در مجاورت سرریز جانبی

شکل ۶ تغییرات پروفیل طولی سطح آزاد جریان در مجاورت سرریز جانبی با ارتفاع تاجهای متفاوت را نشان می دهد. در هر پنج حالت پرش هیدرولیکی تشکیل شده و با کاهش ارتفاع تاج سرریز، مقدار عمق اولیه پرش کاهش یافته و محل شروع پرش هیدرولیکی به سمت پایین دست سرریز منتقل می شود. همچنین با کاهش ارتفاع تاج سرریز، میزان نوسانات سطح آب و ارتفاع پرش هیدرولیکی افزایش می یابد. به طور متوسط با هر ۰/۵ سانتیمتر افزایش ارتفاع تاج، میزان پایین افتادگی سطح آب ۳ درصد کاهش می یابد. محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) در آزمایشات خود نشان دادند که با کاهش ارتفاع تاج در یک دبی ثابت، به دلیل افزایش دبی خروجی از سرریز، پروفیل سطح آب به سمت پایین دست نقل مکان می کند. با کاهش ارتفاع تاج، پروفیل سطح آب به سمت پایین دست نقل مکان کرده است. همچنین بر اساس مشاهدات محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) انتظار می رفت که پروفیل سطح آب در ارتفاع تاج کمتر، پایین تر از پروفیل سطح آب در ارتفاع تاج بیشتر قرار گیرد که با توجه به شکل این حالت اتفاق افتاده است.



شکل ۹: محل شروع پرفش هیدرولیکی برای ارتفاع تاج های متفاوت

۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از نرم افزار ۳D-FLOW تاثیر ارتفاع تاج سرریز بر الگوی جریان سه بعدی و سطح آزاد در کانال مستطیلی دارای سرریز جانبی در شرایط تشکیل پرفش هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفته است. از روش VOF برای مدلسازی تغییرات پروفیل سطح آب استفاده شده و مدلسازی آشفتگی با مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG انجام شد. نتایج به دست آمده از مدل عددی برای سطح آزاد در شرایطی که در مجاورت سرریز پرفش هیدرولیکی تشکیل می شد، تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی نشان داد. در ادامه اثر ارتفاع تاج سرریز بر مشخصات پرفش هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که با کاهش ارتفاع تاج سرریز:

- ۱- مقدار عدد فرود در مقطع اولیه پرفش افزایش می یابد که منجر به قویتر شدن پرفش هیدرولیکی میشود.
- ۲- مقدار عمق اولیه پرفش کاهش یافته و محل شروع پرفش هیدرولیکی به سمت پایین دست سرریز منتقل می شود.
- ۳- میزان نوسانات سطح آب و ارتفاع پرفش هیدرولیکی افزایش می یابد.
- ۴- مقدار ماکزیمم سرعت طولی در ابتدای پرفش بیشتر شده و به سمت پایین دست حرکت می کند.
- ۵- به دلیل منحرف شدن بیشتر جریان به طرف سرریز جانبی، دبی عبوری از سرریز افزایش می یابد.

مراجع

- 1-Mangarulkar, K. (2010). Experimental and numerical study of the characteristics of side weir flows, M.Sc. thesis, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.
- 2-DeMarchi, G. (1934). Essay on the performance of lateral weirs, L'Energia elettrica Milan, 11(11), 849-860 (in Italian).
- 3-Subramanya, K. and Awasthy, S. C. (1972). Spatially varied flow over side weirs, Journal of the Hydraulics Division, 98(1), 1-10.
- 4-Nadesamoorthy, T. and Thomson, A. (1972). Discussion of spatially varied flow over side weirs, Journal of Hydraulic Engineering, 98(12), 2234-5.
- 5-Hager, W. H. (1987). Lateral outflow over side weirs, J Irrig Drainage Eng ASCE, 113(12), 491-504.
- 6-Singh, R., Manivannan, D., and Satyanarayana, T. (1994). Discharge coefficient of rectangular side weirs, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 120(4), 814-819.
- 7-Borghei, S.M., Jalili, M.R. and Ghodsian M. (1999). Discharge coefficient for sharp-crested side weirs in subcritical flow, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 125 (10), 1051-1056.
- 8-سامانی ح م و. (1384). مدل ریاضی یک بعدی هیدرولیک سرریزهای جانبی در شرایط وقوع پرفش هیدرولیکی. مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره 13، 1-15.
- 9-Pathirana, K.P.P. Munas, M.M. Jaleel, A.L.A. (2006). Discharge Coefficient for Sharp-Crested Side Weir in Supercritical Flow, Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka, XXXIX(2), 17-24.
- 10-Durga Rao, K. H. V., Pillai, C. R. S. (2008). Study of Flow over Side Weirs under Supercritical Conditions, Water resources management, 22 (1), 131-143.
- 11-Emin Emiroglu, M. Agaccioglu, H. Kayaa, N. (2011). Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels, Flow Measurement and Instrumentation, 22(4), 319-330.
- 12-Bagheri, S., Heidarpour, M. (2012). Characteristics of Flow over Rectangular Sharp-Crested Side Weirs, J. Irrig. Drain Eng., 138(6), 541-547.
- 13-Tadayon, R. (2009). Modelling curvilinear flows in hydraulic structures, PhD thesis, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.
- 14-Mahmodinia, S. Javan, M. Eghbalzadeh, A. (2012). The effects of the upstream Froude number on the free surface flow over the side weirs, Int. Conf. Mod. Hydr. Eng. Procedia Eng. 28(1), 644-647.
- 15-قیادیان ر، (1390). شبیه سازی آزمایشگاهی و عددی جریان عبوری از سرریز جانبی در شرایط وجود پرفش هیدرولیکی. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان.
- 16-محمدی ک، حسین زاده دلیر ع، (1392). بررسی آزمایشگاهی پرفش هیدرولیکی در سرریزهای جانبی. نشریه دانش آب و خاک، جلد 23، شماره 4، 117-129.
- 17-Sicilian, J.H., and Harper R.P., 1987. FLOW-3D: Computational modeling power for scientists and engineers. Report FSI-87-00-1, Flow Science. Los Alamos, N.M.
- 18-Hirt C. and Nichols B., 1981. "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries," Journal of Computational Physics., vol. 39, pp. 201-225.

تحلیل پی و بدنه سدهای خاکی در حالت استاتیکی و شبه استاتیکی با استفاده از مدل های عددی



فصلنامه علمی تخصصی

مهندسی و مدیریت ساخت

سال اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵

مسعود فتاحیان *

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد واحد مهاباد

میکائیل یوسف زاده

استادیار دانشگاه آزاد واحد مهاباد

یوسف کوه زادیان

کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی

نویسنده مسئول: مسعود فتاحیان

آدرس ایمیل:

masuod.fatahian20@gmail.com

چکیده:

تحلیل استاتیکی و شبه استاتیکی سدهای خاکی در مراحل مختلف ساخت و بهره برداری از اهمیت زیادی برخوردار می باشد در این تحقیق پایداری شیروانی سد ایلام در مراحل نامبرده استاتیکی و شبه استاتیکی در شتاب های افقی زلزله به بزرگی ۰/۱، ۰/۱۲، ۰/۱۳، ۰/۱۴ و ۰/۱۵ شتاب گرانش زمین با استفاده از نرم افزار slope/w بررسی شده است. مقایسه نتایج حاصل از مدل با استاندارد گروه مهندسين ارتش آمریکا مؤید پایداری شیروانی ها در دو حالت استاتیکی و شبه استاتیکی سد ایلام می باشد افت سریع مخزن تأثیر چندانی بر پایداری شیب پایین دست سد. نتایج تحلیل این گونه نشان می دهند که هسته مایل با نفوذپذیری کم به خوبی در مقابل آب تراوش شده به داخل سد مقاومت نموده به طوری که جریان در داخل هسته به شدت افت می کند. بنابراین، قسمت شیب پایین دست سد خاکی همواره خشک باقی می ماند.

کلمات کلیدی: سد خاکی، پایداری شیروانی ها، تحلیل استاتیکی، شبه استاتیکی

Analysis of foundation and fuselage of dams in static and quasi-static by using numerical models



V. 01 No. 02 - Summer
2016

Corresponding author:
Masoud Fatahian

Email address:
masuod.fatahian20@gmail.com

Masoud Fatahian *

M.Sc. Student, Construction, Azad University of Mahabad, Iran

Michael Yousofzadeh

Assist. Prof, at Azad University of Mahabad, Iran

Yousef koohzadian

M.Sc. Student, hydraulic structures, Azad University of Mahabad, Iran

۱- مقدمه

به طور کلی میتوان گفت سد خاکی، ساختمان یا تأسیساتی است که بر روی رودخانه یا مسیل با استفاده از مصالح بدون ملات به منظور ذخیره و بالا آوردن سطح آب در پشت آن ساخته می شود. به عبارت دیگر یک سد خاکی نیز مانند سد بتنی هم باید بتواند سطح آب را در پشت خود بالا بیاورد و در مقابل فشار آب مقاومت کند و هم قادر به ذخیره آب باشد، یعنی در مقابل، آب غیر قابل نفوذ باشد. مهندسی سد را میتوان مجموعه ای از علوم فنی و پایه مهمی دانست که در کنار یکدیگر طراحی و اجرای سد را ممکن می سازد و سازه سد را از نظر بارگذاری های وارده و مقاومت در برابر عوامل مخرب مورد بررسی قرار می دهند [۴]. یکی از عوامل مؤثر و بسیار مهم در پایداری سدهای خاکی، مقاومت برشی مصالح خاکی در بدنه و پی سد است. مقاومت برشی خاک ها تابع اندازه ذرات، دانه بندی، تراکم، ساختمان، رطوبت و شرایط زهکشی در حین برش، سرعت برش و در مورد خاک های چسبنده، تاریخچه بارگذاری است. مقاومت برشی توده خاک، مقاومت داخلی واحد سطح آن خاک است که می تواند برای مقابله با گسیختگی یا لغزش در امتداد هر صفحه داخلی، بروز دهد پایداری شیروانی ها از مباحث مهم مورد توجه مهندسين مي باشد. یکی از دلایل اهمیت این موضوع خسارات ناشی از لغزش شیروانی های خاکی است بطوری که لغزش یک شیب باعث از بین رفتن جان انسان ها و یا به طور مثال باعث خرابی جبران ناپذیر یک سد خاکی می شود. لذا با توجه به اهمیت شیروانیهای خاکی تأثیر نیروهای استاتیکی و زلزله در پایداری آن از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. از دیدگاه اقتصاد مهندسی همچنین بدست آوردن ضریب اطمینان و سطح لغزش بهینه باعث کاهش حجم خاکبرداری و یا خاکریزی با تغییر اندک شیب شیروانی در سازه های بزرگ می شود و برای بررسی پایداری شیروانی ها روش های مختلفی ارائه شده است که می توان روش تحلیل استاتیکی و پایداری لرزه ای شیروانی ها به سه روش بلوک لغزان، تحلیل دینامیکی و روش های شبه استاتیکی تقسیم بندی کرد [۲]. در تحقیقی تحت عنوان تأثیر زهکش های افقی در پایداری شیب های خاکی در برابر گسیختگی های شیب تحت شرایط بارندگی را در مناطق گرمسیری بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد که گذاشتن زهکش های افقی در قسمت تحتانی شیب تأثیر در پایداری شیب بوجود می آورد و گذاشتن زهکش ها در مناطق فوقانی شیب تأثیر ناچیزی بر پایداری شیب در طی مدت زمان طولانی ایجاد می کند و باعث افزایش نشست می شود [۵]. در تحقیقی به بررسی آنالیز پایداری شیب سد خاکی مندلی در عراق در حالت افت سریع مخزن و در شرایط زلزله پرداختند. یکی از خطرناک ترین شرایط برای لغزش شیب بالادست سد خاکی هنگام افت سریع مخزن مخزن، زمانی است که فشار آب در پائین دست از بین می رود. در این تحقیق با بکار بردن روش مورگان پراس با استفاده از نرم افزار slide برای محاسبه ضریب اطمینان استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که ضریب اطمینان شیب بالا دست سد مندلی بطور فاحشی کاهش می یابد. اما هنوز تحت شرایط افت سریع ایمن است [۶].

۲- مواد و روش ها

سد مخزنی ایلام بر روی رودخانه کنجان چم در استان ایلام و در فاصله ۲۲ کیلومتری جنوب شهر ایلام و حوزه جنوبی کبیرکوه احداث شده است. سد مخزنی ایلام یک سد خاکی سنگریزه ای به صورت طبقه بندی شده با هسته نفوذ ناپذیر است که هسته مرکزی سد به سمت بالادست متمایل بوده و این هسته به وسیله فیلتر در دو طرف سراب و پایاب حفاظت می گردد. قسمت خارجی پوسته بالادست به صورت سنگریز ساخته شده که به وسیله یک لایه سنگ چین محافظت می شود [۵].



شکل ۱: مقطع عرضی و مشخصات فنی سد ایلام [۴].

۲-۱- تحلیل های شبه استاتیکی و استاتیکی پایداری

لرزه ای شیروانی های خاکی

تحلیل های شبه استاتیکی در معمول ترین شکل خود اثرات ارتعاشات زلزله را بوسیله شتاب های شبه استاتیکی که نیرو های اینرسی (Fh و Fv) موثر بر روی مرکز توده لغزش ایجاد می نماید منظور می کنند مقادیر نیرو های شبه استاتیکی به قرار زیر است:

$$1) F_h = \frac{a_h * w}{g} = k_h * w$$

$$2) F_v = \frac{a_v * w}{g} = k_v * w$$

که در آن روابط a_h و a_v به ترتیب شتابهای شبه استاتیکی افقی و قائم می باشند و w وزن بالای سطح لغزش، g شتاب زمین و k مقدار ضریب زلزله شبه استاتیکی در دو جهت افق و قائم می باشد. نیروی شبه استاتیکی قائم تأثیر کمتری بر ضریب اطمینان دارد در تحلیل های شبه استاتیکی معمولاً از اثرات شتاب های قائم صرف نظر می شود.

روشهای تحلیل استاتیکی شیروانی های خاکی

در روشهای تحلیل استاتیکی شیروانی های خاکی در شرایطی که تنشهای برشی ایجاد شده در روی بعضی صفحات مساوی و یا بزرگتر از مقاومت برشی بالقوه در روی آن صفحات گردند شیروانی ها دچار ناپایداری خواهند شد. تحلیل تعادل حدی، تعادل نیروها با گشتاور توده ای از خاک روی یک سطح گسیختگی بالقوه مورد بررسی قرار می گیرد و در نتیجه ضریب اطمینان بر روی تمام نقاط سطح شکست ثابت خواهد بود.

۳- نتایج و بحث

صحت و کفایت مشخصات سد خاکی مورد مطالعه می بایست توسط آنالیزهای مختلف تأیید گردد. آنالیز پایداری شیب ها برای حالت استاتیکی و شبه استاتیکی در سه حالت کلی توسط نرم افزار Slope/W انجام می گیرد.

(۱) پس از پایان ساخت.

(۲) در حالت نشست دائم.

(۳) در حالت افت ناگهانی آب مخزن.

برای آنالیز در حالت پس از پایان ساخت، هم شیب بالادست و هم شیب پایین دست تحت آنالیز پایداری شیب استاتیکی قرار خواهند گرفت. در حالت نشست مداوم نیز شیب پایین دست و بالادست سد تحت آنالیز پایداری قرار خواهد گرفت. حالت سوم که حالت افت ناگهانی سطح آب مخزن می باشد، با معرفی لایه های مختلف خاک و معرفی تراز پیژومتریک آب که به طور تقریبی معادل با نتایج آنالیز تراوش به نرم افزار داده می شود انجام می گیرد.

۳-۱- کلیات آنالیز تعادل

پایداری شیب های پوسته بالا دست و پائین دست سد ایلام آنچنانکه در طراحی در نظر گرفته شده بر اساس تعادل حدی بررسی و نتیجه گیری می شود. بررسی پایداری شیب های بالادست و پائین دست دو حالت استاتیک و شبه استاتیک با استفاده از نرم افزار slope/w صورت گرفته است. نرم افزار slope/w بر اساس روش اصلاح شده بیشاپ و مورگان پراس ... می باشد.

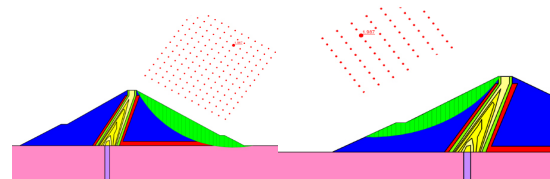
۳-۲- نتایج آنالیزهای پایداری در مرحله پایان ساخت، تراوش

پایدار و افت سریع مخزن در حالت استاتیکی

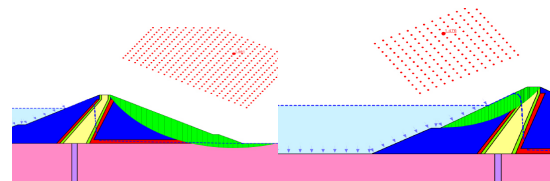
تحلیل های پایداری برای مقطع بحرانی در شیب بالا دست و پائین دست با در نظر گرفتن آب در سطح زمین طبیعی و ملحوظ نمودن صفحات گسیختگی دایره ای انجام گرفت و حداقل ضریب اطمینان درحالات پایان ساخت، تراوش پایدار و در حالت افت سریع آب مخزن برای افت سطح آب به مقدار ۲۰٪ ارتفاع آب پشت سد که معادل ۱۲ متر می باشد مطابق جدول زیر می باشد.

جدول ۱: نتایج تحلیل‌های پایداری شیب بالا دست و پایین دست در حالت استاتیکی

شرایط تحلیل	شیب پوسته	صفحه گسیختگی	حداقل ضریب اطمینان
پایان ساخت	بالا دست	دایره ای	۱/۹۸۷
پایان ساخت	پائین دست	دایره ای	۱/۹۶۷
تراوش پایدار	بالا دست	دایره ای	۸۵۷/۱
تراوش پایدار	پائین دست	دایره ای	۱/۸۷
تخلیه سریع	بالا دست	دایره ای	۱/۴۷۶
تخلیه سریع	پائین دست	دایره ای	۱/۸۸۱

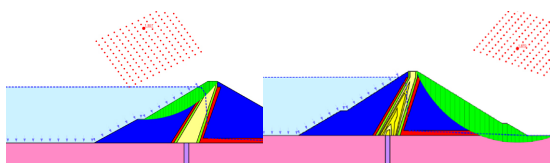


شکل ۲: ضریب اطمینان استاتیکی برای مقطع بحرانی در شیب بالا دست و پایین دست در پایان ساختمان



شکل ۳: ضریب اطمینان استاتیکی برای مقطع بحرانی در شیب بالا دست و پایین دست در افت سریع آب

آب در (Phreatic Surface) آنالیزهای پایداری شیب بالادست برای مقطع بحرانی در حالت تراوش پایدار با فرض (محاظه کارانه) وجود سطح آزاد رقوم حداکثر در هسته رسی و با استفاده از صفحه گسیختگی دایره-ای انجام یافته است.



شکل ۴: ضریب اطمینان پشیب پائین و بالا دست سد در مرحله تراوش پایدار در حالت استاتیک

۳-۳ آنالیزهای تعادل حدی در حالت شبه استاتیک (PSEUDO-STATIC)

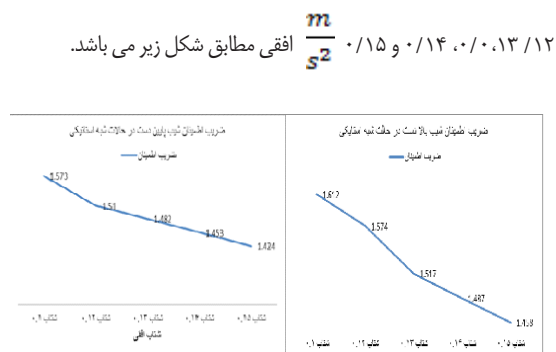
در این قسمت نتایج آنالیز نتایج آنالیزهای پایداری شیب های بالادست و پائین دست در مقاطع بحرانی با احتساب نیروی زلزله و صفحه شکست دایره ای بر اساس مفروضات و پارامترهای ژئوتکنیکی که ذیلا توضیح داده شده است، ارائه شده است. بررسی پایداری شیبهای سد در شرایط شبه استاتیک (وقوع زلزله) در حالات پایان ساختمان سد، تراوش پایدار و مخزن نیمه پر در نظر گرفته شده است. نیروهائی که در آنالیزهای شبه استاتیک در نظر گرفته شده است شرح ذیل می باشد:

- نیروهای خاک اعم از نیروهای رانش و نیروهای مقاومتی
- نیروی آب
- نیروی زلزله

برای اعمال نیروی زلزله در آنالیزهای پایداری، شتاب مؤثر ناشی از شتاب حداکثر (MAXIMUM CREDIBLE EARTHQUAKE) در شکست مربوطه، از روش توصیه شده توسط آقای پرفوسور سید (H.B.SEED) (که روش توصیه شده در بولتن آنالیزهای پایداری (دینامیکی) کمیسیون بین المللی سد سازی (ICOLD) نیز می باشد) این روش در مقاله RANKIN (LECTURE) ارائه گردیده است [۴]. در این روش آقای پرفوسور سید اظهار نموده اند که اگر ضریب شتاب زلزله را برابر $a = 0.15g$ یا $a = 0.1g$ (که با توجه به بزرگی و خصوصیات زلزله تعیین می گردد) در تحلیل‌های پایداری شبه استاتیک در نظر گرفته شود و حداقل ضریب اطمینان برابر $F_s = 1.15$ باشد پایداری تأمین بوده و تغییر مکانهای تاج سد در حد قابل قبولی کوچک خواهند بود. لذا با توجه به موارد فوق الذکر در تحلیل‌های پایداری شبه استاتیک سد ایلام ضریب شتاب را برابر $a = 0.15g$ (با توجه به خصوصیات ریسک زلزله سد ایلام) بکار گرفته شده است [۴].

۳-۴ نتایج آنالیزهای پایداری شبه استاتیک در مرحله پایان ساختمان سد و پیش از آبیگری در زمان وقوع زلزله

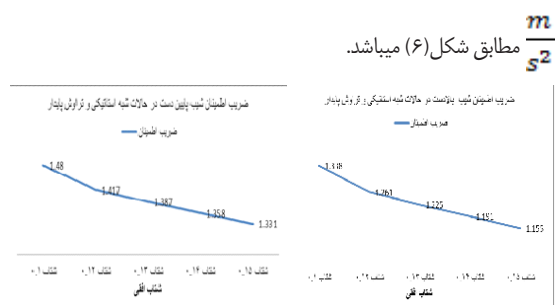
آنالیزهای پایداری شیب بالا دست و پایین دست در حالت پایان ساختمان با در نظر گرفتن شتاب زلزله و سطح آب در رقوم بستر طبیعی با ملفوظ نمودن صفحه گسیختگی دایره ای انجام گردید. حداقل ضرایب اطمینان در شتابهای ۰/۱، ۰/۱۳، ۰/۱۴ و ۰/۱۵ مطابق شکل زیر می باشد.



شکل ۵: ضریب اطمینان شیب پایین و بالا دست در حالت شبه استاتیکی در شتابهای مختلف در حالت پایان ساخت

۳-۵ نتایج آنالیزهای پایداری شبه استاتیک شیب بالا و پائین دست در مرحله تراوش پایدار در زمان وقوع زلزله

در این قسمت آنالیزهای پایداری شیب پائین دست در حالت تراوش پایدار با فرض محاط کارانه وجود سطح آزاد آب در رقوم حداکثر در هسته رسی با استفاده از صفحات گسیختگی دایره ای برای مقطع بحرانی و ملحوظ نمودن شتاب زلزله مربوطه انجام گردید. حداقل ضرایب اطمینان شیب بالادست در حالت تراوش پایدار و با شتابهای افقی ۰/۱، ۰/۱۲، ۰/۱۳، ۰/۱۴ و ۰/۱۵



شکل ۶: ضریب اطمینان شیب پایین و بالا دست در حالت شبه استاتیکی در شتاب های مختلف در حالت تراوش پایدار

۳-۶- نتایج آنالیزهای پایداری شبه استاتیک شیب بالا و پائین دست در مرحله افت سریع مخزن در زمان وقوع زلزله

آنالیزهای پایداری شبه استاتیک شیب بالادست در حالت افت سریع مخزن

با در نظر گرفتن شتابهای افقی ۰/۱، ۰/۱۳، ۰/۰، ۰/۱۴، ۰/۱۵ و $\frac{m}{s^2}$ مربوطه و با ملحوظ نمودن صفحه گسیختگی دایره ای انجام گرفت و حداقل ضریب اطمینان به دست آمده مطابق شکل زیر می باشد.



شکل ۷: ضریب اطمینان شیب پایین و بالا دست در حالت شبه استاتیکی در شتابهای مختلف در حالت تراوش پایدار

۵- نتایج

نرم افزار Geostudio توانایی بسیار ارزشمند و دقیقی در بررسی پایداری سدهای خاکی و به عبارت عمومی تر سازه های ژئوتکنیکی دارد. پایداری شیبهای سد خاکی ایلام به وسیله این نرم افزار مورد تحلیل قرار گرفت و نتیجه به دست آمده با معیارها و دستور عملهای بین المللی مورد مقایسه قرار گرفت. ۱. شیب پائین دست و بالادست در حالت های پایان ساخت، تراوش پایدار و تخلیه سریع در شرایط تحلیل استاتیکی و شبه استاتیکی پایدار می باشد. ۲. شیب پائین دست و بالادست در حالت های پایان ساخت، تراوش پایدار و تخلیه سریع در شرایط تحلیل شبه استاتیکی پایدار می باشد. ۳. افت سریع مخزن تأثیر چندانی بر پایداری شیب پایین دست سد ندارد بعبارت دیگر ضرایب اطمینان شیب پایین دست در حالت افت سریع و تراوش پایدار تقریباً برابر می باشند. ۴. تنها در مرحله افت سریع مخزن شیب بالا دست ضریب اطمینان نزدیک ناپایداری می شود. ۵. هر چه سرعت افت ارتفاع مخزن سد زیادتیر باشد سد ناپایدارتر می باشد. ۶. نتایج تحلیل این گونه نشان می دهند که هسته مایل با نفوذپذیری کم به خوبی در مقابل آب تراوش شده به داخل سد مقاومت نموده به طوری که جریان در داخل هسته به شدت افت می کند. بنابراین، قسمت شیب پائین دست سد خاکی همواره خشک باقی می ماند.

مراجع

۱. جمال، ع. (۱۳۹۰). بررسی اثر شیب هسته رسی بر پدیده تراوش ناپایدار در سدهای خاکی، همایش منطقه ای مدیریت منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابرکوه
۲. ملکپور، ج.، (۱۳۹۰). بررسی آزمایشگاهی تأثیر طول و ضخامت زهکش های افقی بر نشست ماندگار از بدنه سد خاکی همگن، مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۲، صفحه های ۵۱-۶۳
۳. وفائیان، م. (۱۳۸۸)، سدهای خاکی، انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان، دانشگاه اصفهان، جلد اول، چاپ پنجم.
۴. Jesung, J., Jongwook, L., Donghoon, s., Hangyu, P., (۲۰۰۹), Development of dam safety management system., Department of Construction Information Engineering, Induk Institute of Technology, Republic of Korea & bKorea Institute of Water and Environment Republic of Korea.
۵. Duncan J. M., Wrigth S. G., Wong, K. S., (۱۹۹۰), Slope stability during rapid drawdown, In: Proceedings of the H,

ارزیابی خرابی لرزه ای سد بتنی دوقوسی با استفاده از روش المان محدود توسعه یافته و مدل ترک چسبنده بتن (مطالعه موردی: سد کارون III)



فصلنامه علمی تخصصی

مهندسی و مدیریت ساخت

سال اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵

سجاد پیربوداگی *

دانشجوی دکتری مهندسی عمران دانشگاه تبریز

رضا تازی نژاد

دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز

محمد تقی اعلمی

استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز

نویسنده مسئول: سجاد پیربوداگی

آدرس ایمیل:

S.pirboudaghi@gmail.com

چکیده:

برای شبیه سازی آسیب و خرابی سد بتنی دوقوسی تحت خطرات طبیعی مانند زلزله، نیاز به روش های دقیق عددی است تا اثرات آن به صورت صحیح و بهینه اعمال شود. عبارت دیگر تهیه مدل عددی غیرخطی از سازه که بتواند رفتار آن را توجیه کند بسیار با اهمیت خواهد بود. در این تحقیق ارزیابی خرابی لرزه ای سد بتنی دوقوسی کارون III با استفاده از روش المان محدود توسعه یافته و مدل ترک چسبنده بتن تحت تحریک لرزه ای قوی انجام می گیرد و با روش المان محدود مرسوم مقایسه می شود. نتایج نشان می دهد رفتار سد سالم و آسیب دیده تا قبل از ایجاد ترک بسیار شبیه به هم می باشد. ولی پس از گسترش ترک متفاوت خواهد بود. در حالت کلی ترک خوردگی باعث افزایش تغییر مکان های سد و کاهش تنش در بدنه به خصوص اطراف ترک می شود. همچنین الگوی ترک خوردگی کلی بدنه سد حین زلزله پیش بینی شده و قابل بررسی است تا نقاط ضعف آن تقویت شود.

کلمات کلیدی: سد بتنی، ترک چسبنده، روش المان محدود توسعه یافته، خرابی، الگوی ترک خوردگی.

Seismic damage assessment of concrete dam two arch with using developed the finite element method and leave the sticky concrete model (Case study: Karun III)



V. 01 No. 02 - Summer
2016

Corresponding author:
Sajjad pirboudaghi

Email address:
S.pirboudaghi@gmail.com

Sajjad pirboudaghi*

P.H.D. Student, Department of Civil Engineering, Tabriz University, Iran

Reza Tarinejad

professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tabriz University, Iran

Mohammad Taghi Aalami

professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tabriz University, Iran

۱- مقدمه

خرابی در مقایسه‌ی دو وضعیت متفاوت از یک سیستم معنا خواهد داشت که یک وضعیت به عنوان حالت بدون نقص و وضعیت دیگر به عنوان حالت آسیب‌دیده و غیر سالم خواهد بود. از این رو، برای تشخیص اثرات آسیب در یک سازه بزرگ و پیچیده، نیاز به مدلسازی دقیقی عددی است تا نتایج بدست آمده از این مدل غیرخطی، با حالت بدون نقص مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرند. برای مدلسازی عددی سازه ترک خورده نیاز به روش‌های دقیقی است تا اثرات آن به صورت صحیح و بهینه اعمال شود. بعبارت دیگر تهیه مدل عددی از سازه که بتواند رفتار آن را توجیه کند بسیار با اهمیت خواهد بود. روش‌های گوناگونی در این زمینه وجود دارد که محبوب‌ترین آنها المان محدود می‌باشد. اما مدلسازی ناپیوستگی‌ها و از جمله ترک همواره از مشکلات موجود در آن بوده است. بنابراین برای حل این مشکل بلیتسکو و همکارانش (۱۹۹۴) روش «بدون المان» را که در آن فقط گره در محیط مدل در نظر گرفته می‌شد، بنیانگذاری کردند [۱، ۲]. استفاده از مفهوم «تفکیک پیوستگی» که ملنک و بابوسکا [۳] و دات و اودن [۴] در سال ۱۹۹۶ ارائه کردند چشم‌انداز جدیدی برای مدل کردن ترک بوجود آورد و در سال ۱۹۹۹، موئس و همکارانش روشی بر پایه المان محدود که نیاز به مش‌بندی مجدد نداشت را براساس مفهوم تفکیک پیوستگی بنیانگذاری کردند [۵].

در سال ۲۰۰۰ داکس و همکارانش با تکمیل روش موئس، روشی به نام المان محدود توسعه یافته را بنا نهادند [۶]. برای اولین بار کاربرد روش المان محدود توسعه یافته در مدل کردن ترک‌های سه بعدی توسط سوکومار و همکارانش ارائه شد [۷]. بن و همکاران کارایی روش‌های المان محدود توسعه یافته چسبیده، المان محدود با روابط خرابی پلاستیک و المان محدود با رابطه الاستوپلاستیک درآگرپراگر را برای ترک خوردگی لرزه‌ای سدهای بتنی بررسی کردند [۸].

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۳ با اجرای روش المان محدود توسعه یافته توسط نرم افزار آباکوس، ترک خوردگی لرزه‌ای سدهای بتنی با ترک اولیه مثل سد کوبنا را در حالت‌های مختلف ترک یکطرفه و دوطرفه بررسی کردند. نتایج تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد [۹]. پیربوداقی و همکاران در سال ۲۰۱۶ با ترکیب روش المان محدود توسعه یافته و تبدیل مویک، الگویی کارآمد برای پیش سلامت سازه‌ای سد بتنی وزنی کوبنا ارائه کردند [۱۰].

در این تحقیق ارزیابی آسیب و خرابی لرزه‌ای سد بتنی دوقوسی کارون III به عنوان یکی از سدهای بلند کشور در حالت سه بعدی با استفاده از روش المان محدود توسعه یافته بر مبنای مدل ترک چسبیده بتن انجام می‌گیرد. در واقع با استفاده از این روش اثرات غیرخطی بودن سازه به صورت صحیح و بهینه در نظر گرفته می‌شود تا بتوان مدل عددی کارآمدی برای شبیه سازی رفتار آن تحت تحریک قوی لرزه‌ای ارائه کرد.

۲- روش المان محدود توسعه یافته

در روش المان محدود توسعه یافته با استفاده از دسته‌ای از توابع غنی‌سازی که با توجه به هندسه و فیزیک مساله انتخاب می‌شوند، توابع شکل عادی المان محدود غنی‌سازی می‌شوند. در واقع تنها توابع خاصی بر مبنای نوع ناپیوستگی به حل عددی استاندارد اضافه می‌شوند. برای مدل کردن ترک، از یک تابع برای ایجاد ناپیوستگی در امتداد طول ترک و از تابع دیگری برای ایجاد شرایط تکیه در المان نوک ترک استفاده می‌گردد. در نتیجه اعمال توابع، درجه آزادی گره‌های اطراف المان نوک ترک و گره‌های اطراف طول ترک افزایش می‌یابد، که به آن غنی‌سازی گرهی مطابق رابطه ۱ گفته می‌شود:

(۱)

۱۶

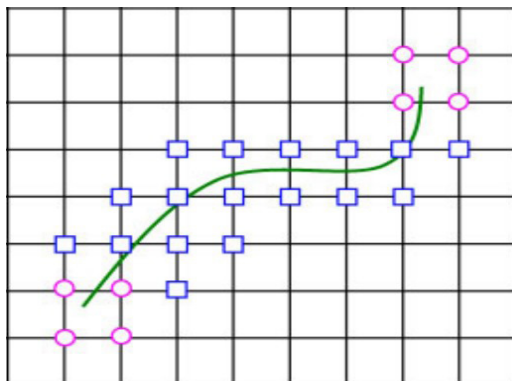
شماره دوم
تابستان ۱۳۹۵
فصلنامه
علمی تخصصی

خبر
سازمان

تعداد گره‌ها	۱۰۰۰
تعداد عناصر	۱۰۰۰
تعداد توابع شکل	۱۰۰۰
تعداد توابع شکل غنی‌سازی	۱۰۰۰
تعداد توابع شکل غنی‌سازی	۱۰۰۰

در رابطه ۱، u جابجایی گره و NI تابع شکل در روش المان محدود استاندارد، توابع غنی‌سازی و aI ضرایب مجهول مرتبط با توابع غنی‌سازی است که در نهایت توسط این روابط، ضرایب مجهول aI به درجات آزادی گره‌های اطراف ترک اضافه می‌شوند. مطابق شکل ۱، برای تعیین نوع تابع مناسب جهت غنی‌سازی، محل برخورد ترک با اضلاع المان‌ها مشخص می‌گردد اگر ترک در دو ناحیه اضلاع یک المان را ببرد از تابع پله‌ای واحد جهت غنی‌سازی گره‌های

اطراف آن المان استفاده خواهد شد (گره‌های مربعی) و اگر ترک تنها یکی از اضلاع المان را قطع کند یا به عبارت دیگر نوک ترک داخل المان باشد برای گره‌های اطراف آن المان غنی‌سازی به روش تابع تکیه انجام خواهد گردید (گره‌های دایره‌ای).



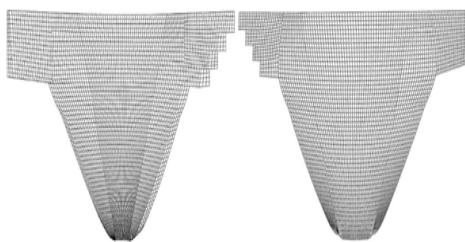
شکل ۱ - نمایش نحوه غنی‌سازی گره‌ها در روش المان محدود توسعه یافته

برای یافتن ماتریس سختی هر المان، فقط باید با توجه به معیار غنی‌سازی ارائه شده، تأثیر درجات آزادی افزوده شده به هر گره در ابعاد ماتریس [B] در نظر گرفته شود. بنابراین سهم هر سه نوع کلی گره به طور جداگانه در روش المان محدود توسعه یافته، درون ماتریس [B] به دست آورده می‌شود - که با توجه به نوع گره‌های اطراف، روی مرز یا داخل هر المان می‌توان ماتریس کلی [B] را برای آن المان بدست آورد. سپس ماتریس سختی مربوط به آن المان مشخص می‌گردد که در ماتریس سختی کل مدل مونتاژ می‌شود. بدیهی است ابعاد ماتریس سختی المان که وابسته به ابعاد ماتریس [B] می‌باشد، متفاوت خواهد بود، اما از لحاظ ریاضی به راحتی قابل اثبات است که همواره ماتریس سختی برای هر نوع المان متقارن خواهد بود که در نتیجه ماتریس سختی کل سازه نیز متقارن می‌شود. بنابراین با روش المان محدود توسعه یافته، ترک به صورت مجازی و مستقل از مش مدل می‌شود و نیاز به استفاده از مش ریز، المان تکیه در اطراف نوک ترک و ایجاد مش مجدد در بررسی رشد ترک نخواهد بود [۱۱].

۳- مدل ترک چسبیده

در حالتی که ناحیه فرایند شکست در مقایسه با طول ترک و ابعاد مسئله قابل صرفنظر کردن نباشد، مثل مصالح نیمه ترد نظیر مصالح خاکی و بتن، استفاده از مدل مکانیک شکست الاستیک خطی منطقی نیست. بمنظور توصیف فرآیندهای غیرخطی که در محدوده نوک ترک رخ می‌دهد، بارنیلات در سال ۱۹۶۲ [۱۲] و داگدایل در سال ۱۹۶۰ [۱۳] مدل ترک چسبیده را به عنوان جایگزینی برای مدل مکانیک شکست خطی مطرح نمودند. مدل ترک چسبیده، رفتار غیرخطی در ناحیه نوک ترک را به حساب آورده و تکیگی میدان تنش در نوک ترک را که یک فرض غیر واقعی مکانیک شکست الاستیک خطی می‌باشد اصلاح می‌کند. مطابق شکل ۲، نوک ترک در مدل ترک چسبیده به دو صورت تعریف می‌شود: یکی نوک ترک ریاضی که محلی است که در آن ناپیوستگی میدان جابجایی در مدل المان محدود توسعه یافته از بین می‌رود و دیگری نوک ترک واقعی که محلی است که در آن نیروی چسبیده در نوک ترک از بین می‌رود. در این راستا، معیار کشش جدایش بر مبنای مفهوم ترک چسبیده که در آن رفتار ماده تحت اعمال کشش و برش، به دو بخش قبل از جوانه زنی و آغاز شکست کامل ماده تقسیم می‌شود، همخوانی خوبی با رفتار مواد شبه ترد از جمله سنگ‌ها و مواد مصنوعی مانند بتن از خود نشان می‌دهد.

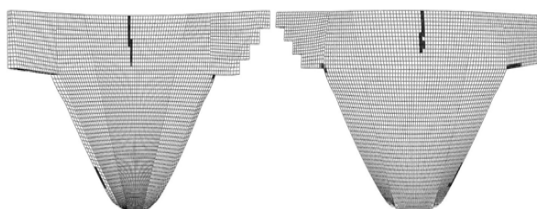
از نوع انرژی با انرژی شکست ۳۰۰ نیوتن بر متر در نظر گرفته شده است. ضریب ویسکوزیته برای چسبندگی پایداری سازی آسیب بمنظور همگرا کردن آنالیز غیرخطی برابر ۱۰-۶ است. در صورتی که در محلی از سد مقادیر تنش کششی به مقدار ماکزیمم تنش اصلی برسد، از آن ناحیه ترک خوردگی شروع شده و با نرخ برآورد خرابی گسترش پیدا خواهد کرد.



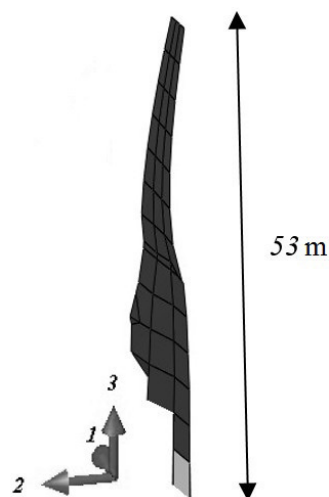
شکل ۴- مدل المان محدود سد کارون III

۵- نتایج تحلیل سد سالم و روش اجزای چسبیده ترک توسعه یافته

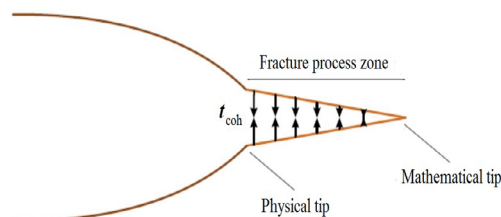
زلزله کوبنا یکی از شدیدترین رکوردهای گزارش شده در سطح دنیا می باشد که باعث ایجاد ترک های شدید در سد بتنی وزنی کوبنا شده است. مطابق شکل ۵، شتابنگاشت زلزله کوبنا باعث ترک خوردگی بدنه سد و همچنین آسیب دیدگی موضعی در نواحی تکیه گاهی سد کارون III شده است. بنابراین با استفاده از تحلیل مدل المان محدود توسعه یافته سد، نواحی مستعد آسیب، ترک خورده و در داخل بدنه گسترش پیدا خواهد کرد و حتی ممکن است کل سازه دچار شکست و گسیختگی شود. لازم به ذکر است که اثر درزه های اجرایی در نظر گرفته نشده است. ترک خوردگی از ثانیه ۴/۰۹ شروع شده و تا ثانیه ۴/۱۴ منجر به رشد ترک ۵۳ متری در داخل بدنه سد می شود. در شکل ۶، هندسه سه بعدی ترک عمیق ایجاد شده در بدنه نشان داده شده است. بنابراین الگوی ترک خوردگی کلی بدنه سد کارون III حین زلزله پیش بینی شده و قابل بررسی است تا نقاط ضعف آن تقویت شود. در شکل ۷ مقایسه تغییر مکان عرضی، طولی و قائم نقطه وسط تاج سد تحت زلزله آورده شده است.



شکل ۵- ترک های سد کارون III در رویه پایین دست و بالادست



شکل ۶- هندسه سه بعدی ترک مرکزی سد کارون III



شکل ۲- نوک ترک در مدل ترک چسبیده

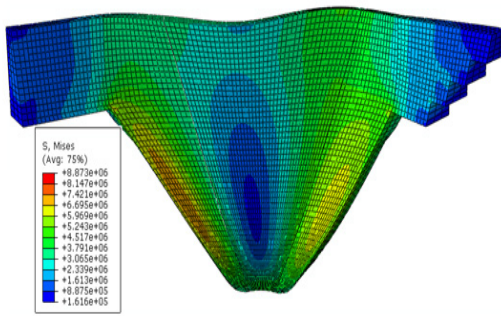
۴- مدلسازی خرابی و رشد ترک سد کارون III

سد کارون III به عنوان یکی از بلندترین سدهای بتنی دوقوسی در حال بهره برداری کشور از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. عملکرد مطابق انتظار این سازه و اطمینان از این مسئله، جایگاه ویژه ای در صنعت سدسازی کشور دارد. سد کارون III از نوع بتنی دوقوسی با طول تاج ۴۶۲ متر، عرض تاج ۵/۵ متر، ارتفاع از پی ۲۰۵ متر و ضخامت در پی ۲۹/۵ متر می باشد. نمایی از بدنه سد، مخزن و سازه های جنبی در شکل ۳ ارائه شده است.

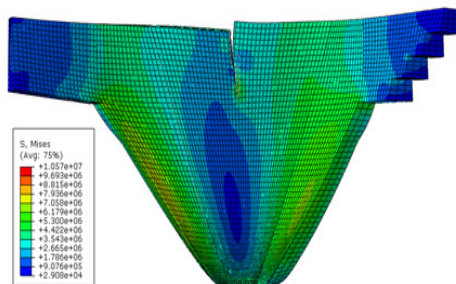
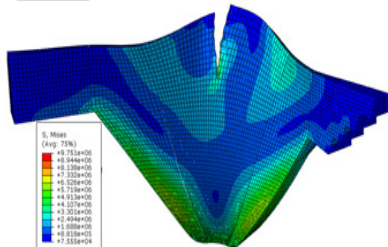
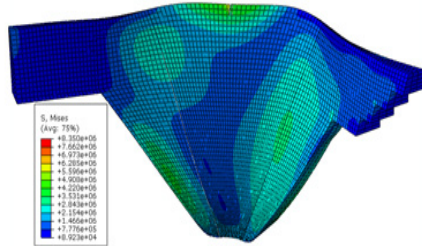
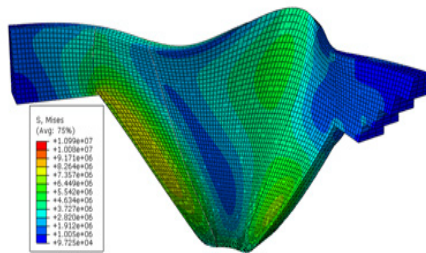


شکل ۳- نمایی از بدنه سد کارون III، مخزن و سازه های جنبی

برای تحلیل سد از پارامترهای قبلاً بدست آمده که مبنای طراحی سد کارون III می باشند استفاده می شود. مدول الاستیسیته ۲۹/۵ گیگاپاسکال، ضریب پواسون ۰/۲، دانسیته بتن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و مقاومت نهایی فشاری بتن ۳۵ مگاپاسکال می باشد. میرایی سد به روش رایلی با نسبت میرایی بحرانی ۳ درصد با استفاده از فرکانس طبیعی اول و سوم سازه بدست آمده است. رفتار سد با استفاده از نرم افزار آباکوس ابتدا به صورت الاستیک خطی با المان C3D۸R، گام زمانی ۰/۰۱ و بطول ۱۰ ثانیه در نظر گرفته می شود. مدل المان محدود و مش بندی مناسب آن پس از حساسیت سنجی، بطوریکه الگوی ترک با مش ریزتر تفاوتی نکند و همچنین بررسی همگرایی نتایج در شکل ۴ ارائه شده است. شتابنگاشت اعمال شده براساس مولفه های افقی و قائم زلزله کوبنا می باشد که با بزرگنمایی ۳ برابر وارد شده است. برای مولفه طولی و قائم از مولفه افقی و برای مولفه عرضی از مولفه قائم زلزله کوبنا استفاده شده است. اعمال مولفه های زلزله و بزرگنمایی آن به صورتی بوده است که در نهایت ترک در داخل بدنه سد به دور از تکیه گاه اتفاق افتد. بدیهی است ترک میانی و در داخل بدنه نزدیک به تاج نسبت به ترک های دیگر خطرناک تر می باشد. لذا با سعی و خطا اعمال مولفه های زلزله کوبنا با بزرگنمایی و تغییر جهت اعمالی به بدنه سد کارون III این امر میسر شده است که نتیجه نهایی مطابق موارد اشاره شده اخیر است. بارهای استاتیکی شامل وزن و فشار آب هیدرواستاتیک است. برای آسیب و گسترش ترک از روش المان محدود توسعه یافته مطابق با مش بندی شکل ۴ استفاده می شود. مدل المان محدود توسعه یافته سد با توجه به مدل ترک چسبیده بر پایه خواص بتن آن ساخته می شود. با توجه به مقاومت مجاز کششی بتن بدنه، ماکزیمم تنش اصلی مطابق با معیار کشش جدایش، برابر ۳/۷۶ مگاپاسکال می باشد. برآورد خرابی

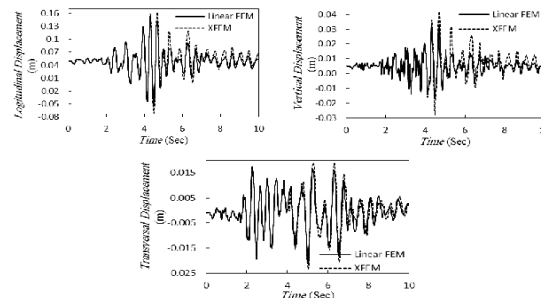


شکل ۸- مقایسه تنش در بدنه سد به روش المان محدود خطی به ترتیب در لحظات ۲/۲۹، ۴/۱۴، ۴/۵۵ و ۱۰ ثانیه

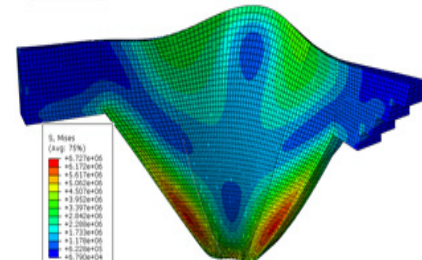
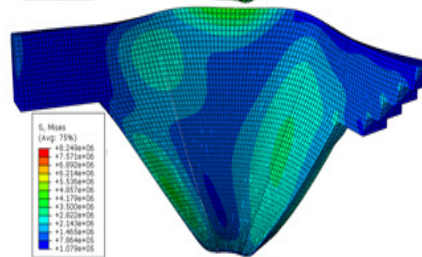
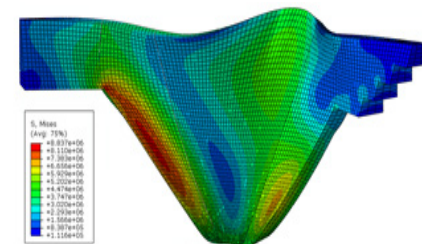


شکل ۹- مقایسه تنش در بدنه سد به روش المان محدود توسعه یافته به ترتیب در لحظات ۲/۲۹، ۴/۱۴، ۴/۵۵ و ۱۰ ثانیه

مطابق شکل ۸ و ۹، با استفاده از مدل المان محدود توسعه یافته سد، نواحی مستعد آسیب، ترک خورده و در داخل بدنه گسترش پیدا خواهد کرد تا اینکه سازه دچار ترک عمیق در قسمت میانی تاج شود. ملاحظه می شود مقادیر بیشینه تنش در حالت خطی بیشتر از حالت غیرخطی است. تنش پس از شروع آسیب و گسترش ترک تغییر می کند بطوریکه تنش کششی پس از آن به صورت کامل در اطراف ترک حذف می شود. بنابراین گسترش ترک باعث تغییر تنش در بدنه و کاهش آن می شود به نحوی که میزان تنش با توجه به آزاد شدن انرژی، در اطراف ترک نسبت



بیشترین محدوده تغییر مکان مربوط به حالت طولی می باشد در حالیکه محدوده تغییر مکان عرضی و قائم یکسان است. همچنین الگوی تغییر مکان طولی و قائم شبیه بهم می باشد، چراکه شتابنگاشت اعمالی زلزله در جهت طولی و قائم یکسان است. در حالیکه الگوی تغییر مکان عرضی متفاوت با دو تغییر مکان دیگر است. ماکزیمم تغییر مکان طولی، عرضی و قائم به ترتیب با تحلیل المان محدود، برابر ۰/۱۵۱، ۰/۰۲۱ و ۰/۰۳۳ و با تحلیل المان محدود توسعه یافته بر مبنای مدل ترک چسبنده بتن، برابر ۰/۱۶۳، ۰/۰۲۳ و ۰/۰۴۲ می باشد. ملاحظه می شود که رفتار سد سالم و آسیب دیده تا قبل از ایجاد ترک بسیار شبیه به هم می باشد. ولی پس از گسترش ترک متفاوت خواهد بود. در حالت کلی ترک خوردگی باعث افزایش تغییر مکان های سد شده است. در شکل ۸ و ۹، به ترتیب مقایسه تنش در بدنه سد به روش المان محدود خطی و المان محدود توسعه یافته در لحظات ۲/۲۹، ۴/۱۴، ۴/۵۵ و ۱۰ ثانیه ارائه شده است.



۹. Zhang, S., G. Wang, and X. Yu, Seismic cracking analysis of concrete gravity dams with initial cracks using the extended finite element method. *Engineering Structures*, ۵۶. ۲۰۱۳: p. ۵۲۸-۵۳۳.
۱۰. S. Pirboudaghi, R.T., M. T. Alami., ۲D Seismic Cracking Identification of Concrete Gravity Dams Based on Extended Finite Element Method and Wavelet Transform. *Modares Mechanical Engineering*, ۹(۱۶. ۲۰۱۶): p. ۱۱-۱۰.
۱۱. Mohammadi, S., Extended finite element method: for fracture analysis of structures. ۲۰۰۸: John Wiley & Sons.
۱۲. Barenblatt, G.I., The mathematical theory of equilibrium cracks in brittle fracture. *Advances in applied mechanics*, ۱(۷. ۱۹۶۲): p. ۱۲۹-۵۵.
۱۳. Dugdale, D., Yielding of steel sheets containing slits. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, ۱۹۶۰. ۲(۸): p. ۱۰۴-۱۰۰.

به بدنه بیشتر کاهش پیدا می‌کند. بعلاوه الگوی ترک‌خوردگی کلی بدنه سد حین زلزله پیش بینی شده و قابل بررسی است تا نقاط ضعف آن تقویت شود.

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق ارزیابی خرابی لرزه‌ای سد بتنی دوقوسی کارون III با استفاده از روش المان محدود توسعه یافته و مدل ترک چسبنده بتن تحت تحریک لرزه ای قوی انجام گرفت و با روش المان محدود مرسوم مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد مدلسازی ناپیوستگی ها و از جمله ترک از مشکلات موجود المان محدود می‌باشد. با وجود اینکه رفتار سد سالم (المان محدود) و آسیب‌دیده (المان محدود توسعه یافته) تا قبل از ایجاد ترک بسیار شبیه به هم می‌باشد، ولی پس از گسترش ترک کاملاً متفاوت خواهد بود. بطوریکه ترکی به عمیقی به ارتفاع ۵۳ متر در میانه سد ایجاد می‌شود. در حالت کلی ترک‌خوردگی باعث افزایش تغییرمکان های سد شده است که با توجه به ترک خوردگی و کاهش طلبیت سازه مورد انتظار است. همچنین کاهش تنش در بدنه به خصوص در اطراف ترک با توجه به آزاد شدن انرژی می‌شود. با استفاده از تحلیل مدل المان محدود توسعه یافته سد، رفتار سد حین زلزله قوی شبیه سازی می‌شود و الگوی ترک‌خوردگی کلی بدنه ناشی از زلزله بدست می‌آید که در این صورت می‌توان به تمهیدات بعدی برای تعمیر و بهسازی سازه اندیشید.

۷- مراجع

۱. Belytschko, T., Y.Y. Lu, and L. Gu, Element free Galerkin methods. *International journal for numerical methods in engineering*, ۲(۳۷. ۱۹۹۴): p. ۲۵۶-۲۲۹.
۲. Fleming, M., et al., Enriched element-free Galerkin methods for crack tip fields. *International journal for numerical methods in engineering*, ۸(۴۰. ۱۹۹۷): p. ۱۴۸۳-۱۵۰۴.
۳. Melenk, J.M. and I. Babu ka, The partition of unity finite element method: basic theory and applications. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, ۱(۱۳۹. ۱۹۹۶): p. ۲۸۹-۳۱۴.
۴. Duarte, C.A. and J.T. Oden, An h-p adaptive method using clouds. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, ۱(۱۳۹. ۱۹۹۶): p. ۲۳۷-۲۶۲.
۵. Moes, N., J. Dolbow, and T. Belytschko, A Fnite Element Method for Crack Growth Without Remeshing. *International Journal for Numerical Methods in engineering*, ۱(۴۶. ۱۹۹۹): p. ۱۳۱-۱۵۰.
۶. C., D., et al., Arbitrary Cracks and Holes with the Extended Finite Element Method. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, ۱۲(۴۸. ۲۰۰۰): p. ۱۷۴۱-۱۷۶۰.
۷. Sukumar, N., et al., Extended finite element method for three dimensional crack modelling. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, ۱۱(۴۸. ۲۰۰۰): p. ۱۵۴۹-۱۵۷۰.
۸. Pan, J., et al., A comparative study of the different procedures for seismic cracking analysis of concrete dams. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, ۱۱(۳۱. ۲۰۱۱): p. ۱۵۹۴-۱۶۰۶.

مروری بر روش های حفاظت از محیط زیست در پروژه های سدسازی



فصلنامه علمی تخصصی

مهندسی و مدیریت ساخت

سال اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵

نویسنده مسئول: سید حسین مهاجری

آدرس ایمیل:

Hossein.mohajeri@gmail.com

سید حسین مهاجری*

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات

سید محمدمین نجیبی

کارشناسی ارشد مهندسی عمران، جهاد دانشگاهی دانشگاه شهید بهشتی

مهدی شهرکی

کارشناس دفتر مطالعات شرکت سهامی آب منطقه ای سیستان و بلوچستان - زاهدان

چکیده:

بررسی و مطالعات انجام شده نشان داده است که ساخت سد و ذخیره آب در مخزن آن اثرات فیزیکی - شیمیایی و اکولوژیکی قابل توجهی بر اوسیسستم می گذارد. در حقیقت ساخت سد می تواند محیط زیست را به دو مستقیم و غیرمستقیم و در یک طیف وسیع تحت تاثیر قرار دهد. در مطالعه حاضر به بررسی آثار زیست محیطی ساخت سد پرداخته می شود. سپس در ادامه با توجه آثار زیست محیطی، روش های حفاظت از محیط زیست در پروژه های سدسازی مورد بحث قرار می گیرند. مطالعه حاضر نشان داده است که برای کاهش این اثرات نامطلوب، سرمایه گذاری بر روی روش های نوین حفاظت از محیط زیست اجتناب ناپذیر می باشد. از طرف مقابل، مفهوم توسعه پایدار در برنامه ریزی های آتی ساخت سدها باید مورد توجه قرار گیرد. کلیه آثار زیست محیطی یک سد در حیطه حوضه آبریز مربوطه باید در یک مطالعه جامع زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی برآورد گردد. در نهایت با توجه آثار زیست محیطی و روش های حفاظتی، اهمیت دیدگاه بین رشته ای مورد بحث قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: پروژه های سدسازی، تنوع زیست محیطی، حفاظت زیست محیطی، آثار زیست محیطی، اکوسیستم.

A review of methods to protect the environment in dam projects

Seyyed Hossein mohajerry*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Science and Research

Seyyed Mohammad Amin najibi

Master of Civil Engineering, University Jihad martyr Beheshti University

mahdi shahraki

Department of Sistan and Baluchestan Regional Water Authority Office of Zahedan



V. 01 No. 02 - Summer
2016

Corresponding author:
Seyyed Hossein mohajerry

Email address:
Hossein.mohajeri@gmail.com

آب های شیرین کمتر از ۰/۱٪ از آب های زمین را تشکیل می دهند، اما دارای تنوع زیستی قابل توجهی هستند. با وجودی که آب های شیرین محدوده کمتری از اقیانوس ها و خشکی های زمین را تشکیل می دهد، اکوسیستم مربوط به آب های شیرین میزبان نسبت قابل توجهی از گونه های زیستی می باشد. به بیان دقیق تر گونه های زیستی موجود در اکوسیستم آب های شیرین بر واحد سطح، ۱۰٪ بیش از خشکی های زمین و ۱۵۰٪ بیش از اقیانوس ها می باشد (ام ای آی، ۲۰۰۵). بیش از ۴۵۰۰۰ گونه گیاهی، حیوانی و میکروارگانیسم در محیط های پیرامون آب های شیرین شناسایی و نام گذاری علمی شده اند. هرچند که دانشمندان بر این باورند که بیش از یک میلیون گونه زیستی در محیط های پیرامون آب های شیرین زندگی می کنند [۱].

سدها یکی از بزرگترین ساخت های بشر است که چرخه هیدرولوژی را به شدت تحت تاثیر می گذارد. با وجودی که سدها با تامین آب شرب برای بشر، آبیاری و زهکشی، تامین انرژی برق آبی و توسعه اقتصادی و اجتماعی برای زندگی بشری سودمند می باشد، آثار زیست محیطی جبران ناپذیری بر اکوسیستم پیرامونی وارد می سازد. در حقیقت برآورد شده است که انتقال درون حوضه ای آب و نیز استخراج آب برای اهداف آبیاری و تامین آب آشامیدنی ۶۰٪ آب رودخانه های جهان را از چرخه آب جدا کرده است [۲]. متأسفانه در اغلب سدهای موجود، مباحث پیرامون آثار زیست محیطی نقش بسیار کم و محدودی در طراحی و عملکرد ایفا می کند. هر چند که در دهه اخیر افزایش آگاهی در رابطه با آثار زیست محیطی سدها منجر به شناسایی اهمیت مدیریت زیست محیطی منابع آبی شده است. در نتیجه، تلاش مضاعفی برای توسعه دیدگاه های با آثار زیست محیطی کمتری در پروژه های سدسازی در حال انجام است. هر چند که تجربه نشان داده است که موفقیت در توسعه معیارها و اندازه گیری های انجام شده، به شدت متغیر و غیرقابل اعتماد است [۳].

مطالعه حاضر مروری است بر آثار زیست محیطی حضور سد در اکوسیستم و فرصت ها و محدودیت ها در روش های حفاظتی زیست محیطی موجود جهت مقابله با آثار منفی. بررسی ها نشان داد که روش های مختلف فنی و غیرفنی جهت کنترل این آثار منفی زیست محیطی توسعه پیدا نموده اند. در ادامه در مورد عدم کارایی و موفقیت روش های موجود بحث می شود و در نهایت اهمیت و نیاز به توسعه یک دیدگاه نوین با تاکید بر دیدگاه بین رشته ای جهت مقابله با آثار زیست محیطی مورد بحث قرار می گیرد.

۲- آثار زیست محیطی سدها

رودخانه ها از بهم پیوستن جریان های سطحی و زیرزمینی به وجود می آیند و مکانی مهم برای جریان آب، انرژی، مواد و گونه های مختلف جانوری و گیاهی هستند. ناهمگونی مکانی و زمانی سیستم های رودخانه ای منجر به ایجاد زیستگاه های آبی پویا و متنوع و در نتیجه پیدایش تنوع زیستی گوناگون شده است که همگی آنها توسط رژیم تغییرات مکانی جریان رودخانه حفظ می شوند. ارتباط با بالادست و پایین دست رودخانه و نیز ارتباط بین رودخانه و دشت سیلابی تحت عنوان مفهوم یکپارچگی رودخانه بیان می شود [۴]. به بیان دقیق تر یکپارچگی رودخانه بدین معناست که تغییرات طبیعی در رژیم جریان، کیفیت آب و گونه های زیستی رودخانه و دشت سیلابی از هم مستقل نبوده و به یکدیگر مرتبط می شوند. مواد مغذی و رسوبات به وجود آمده در بالادست، باعث رشد گیاهان و افزایش بهره وری زیستی در پایین دست می گردد. طغیان منظم دشت های سیلابی باعث بالا رفتن تجزیه مواد آلی و چرخه غذایی شده و در نتیجه منجر به تکامل استراتژی های تطبیقی در گونه های زیستی می شود که شدیداً تابع رژیم سیلابی است. در برخی مکان ها، مواد مغذی از طریق ماهی های کوچ کننده نظیر سالمون دوباره به بالادست باز می گردد. بعد از اینکه تخم ریزی به اتمام رسید و ماهی مادر دچار مرگ گردید، لاشه حیوان با جریان رودخانه به پایین دست منتقل شده و با تجزیه آن مواد مغذی آزاد می شود. این آزادسازی تاثیر قابل ملاحظه ای بر تولید اولیه و ثانویه (بعنوان نمونه تاثیر بر فیتوپلانکتون و زوپلانکتون) دارد. در برخی رودخانه های شمالی آمریکا، تولید اولیه و فعالیت های باکتریایی در زمان تجزیه اجساد به بالاترین حد خود می رسد، حتی اگر تخم ریزی ماهی ها در زمستان اتفاق بیفتد [۵].

احداث سد منجر به یک «انفصال» در «یکپارچگی» رودخانه می شود [۶]. آبیگری سد منجر به اثرات بی شماری بر فرآیندهای طبیعی رودخانه شده و در

نهایت باعث تغییر ساختار اکولوژیکی اکوسیستم ها می شود. برخی از این اثرات به عنوان اثرات مستقیم شناخته شده اند که گاهی اوقات تا چند صد کیلومتر در پایین دست نیز قابل مشاهده است. از طرف مقابل، آثار ثانویه این انفصال تحت عنوان آثار غیرمستقیم شناخته می شوند. در ادامه این آثار جداگانه بحث می گردند.

۲-۱- آثار مستقیم

۲-۱-۱- تغییر رژیم جریان و آورد رسوب

روشن ترین اثر مخازن سدها، زیرآب رفتن اکوسیستم های خاکی در بالادست و تغییر سیستم های متحرک و ساکن در مجرای رودخانه است. سدها همچنین منجر به تغییر رژیم جریان در پایین دست می شوند. اثر یک سد و مخزن آن بر رژیم رودخانه، بستگی به حجم مخزن نسبت به حجم جریان رودخانه و نیز کاربری سد دارد. متداول ترین اثر تنظیم جریان ناشی از احداث سد، کاهش اندازه پیک سیلاب و افزایش در جریان با دبی پایین است. یکی از پیامدهای کاهش اندازه پیک سیلاب کاهش تناوب و گستره سیلاب های واقع در حاشیه رودخانه است [۷]. برای مثال، در تالاب های نیجر به بعد از احداث سد، زمین های تحت تاثیر سیلاب سالیانه از ۳۰۰۰ کیلومتر مربع به ۱۰۰۰ کیلومتر مربع تقلیل یافت. در برخی شرایط، بهره برداری هایی از قبیل تامین برق و آب کشاورزی و حتی کشتیرانی و تفریحی می تواند باعث نوسانات سریع و غیر طبیعی جریان شود.

یکی دیگر از عواملی که موجب وقوع خسارات و آثار منفی در بالادست و پایین دست سد می شود، ته نشین شدن آورد رسوب رودخانه در مخزن سدها می باشد [۸]. بر اثر رسوب گذاری، کارایی انجام عملیات سد (یا به عبارت دیگر سود به دست آمده از تولید انرژی هیدروالکتریکی، آبیاری، تامین آب و کنترل سیلاب) به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. در پایین دست سد، فقدان رسوب موجب کاهش تراز کف کانال و تغییر در شرایط زندگی گیاهان و جانوران آبی می شود. به بیان دیگر به دلیل رسوب گذاری در بالادست، شرایط طبیعی رودخانه (یا ارتباط رسوب و آب آزاد در شرایط عدم حضور سد) تغییر پیدا می کند [۹]. از طرف دیگر، افزایش سطح آب زیرزمینی، کاهش ظرفیت طبیعی رودخانه در کنترل سیلاب، بالا رفتن سطح آب در مخزن و انحراف یا عقب نشینی آب مجموعه ای از آثار منفی رسوب گذاری در بالادست سد می باشد [۱۰].

۲-۱-۲- تغییر درجه حرارت آب

دمای آب بر بسیاری از فرآیندهای اکوسیستم موثر است. دما با فاکتورهای مختلفی نظیر رفتار تغذیه ای، جذب غذا و تولید ارگانیسم های غذایی، بر ماهی های ساکن آب شیرین اثرگذار است. در شرایط طبیعی، حجم نسبتاً کم آب موجود در بخشی از رودخانه و آشفته گی جریان می تواند خیلی سریع به تغییر شرایط جوی پاسخ دهد. اما در مقابل، حجم نسبتاً عظیم آب ساکن مخازن سد باعث انباشت گرما شده و الگوهای خاص فصلی را در رفتار حرارتی آب ناشی جریان لایه ای به وجود می آورد. در حقیقت، بسته به موقعیت جغرافیایی، آب موجود در مخازن عمیق می تواند دچار اثر لایه بندی حرارتی شوند که خود این لایه بندی حرارتی منجر به ایجاد نوع دیگری از حرکت آب در داخل مخزن سد می گردد که به جریان لایه ای مشهور است. از طرف دیگر رها شدن آب موجود در مخزن و یا آب خروجی از نیروگاه نیز آثار زیست محیطی قابل توجهی را ناشی می شود. با باز شدن دریچه تحتانی یک سد، آب سرد موجود در عمیق ترین لایه های مخزن موجب پیامد غیرطبیعی فاجعه باری در پایین دست سد می شود [۱۱]. از طرف مقابل تغییر دوره ای دما به واسطه تخلیه آب خروجی از نیروگاه برق آبی در نزدیکی سد نیز موجب افزایش پدیده ترموپیکینگ می شود که موجب آثار منفی بر آبزیان به خصوص بر بی مهرگان در پایین دست سد می شود [۱۲].

۲-۱-۳- تغییر کیفیت آب

ذخیره آب در مخازن منجر به تغییر کیفیت آب (خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب) می شود که همگی آنها بر خصوصیات شیمیایی آب اثرگذارند. در نتیجه، آب تخلیه شده از مخازن دارای

ترکیبات متفاوتی نسبت به جریان ورودی است. مواد مغذی، به خصوص فسفردارها به صورت بیولوژیکی آزاد و توسط سیلاب از گیاهان و خاک شسته می شوند. معمولاً میزان اکسیژن خواهی و مواد مغذی با فاسد شدن ماده آلی کاهش می یابد، اما برخی مخازن سال های زیادی برای رسیدن به تعادل در رژیم کیفی آب نیاز دارند [۱۳].

با گذر زمان و بعد از تکامل و بلوغ مخزن، همانند دریاچه های طبیعی یک مخزن مانند سینک مواد مغذی عمل می کند. برای مثال، غلظت ارتوفسفات موجود در جریان خروجی مخزن سد کالاهان واقع در ایالت میسوری آمریکا، کاهش ۵۰٪ را در مقایسه با جریان ورودی نشان می داد [۱۴]. انباشت مواد مغذی در مخازن در نتیجه جریان ورودی قابل ملاحظه ای از مواد آلی و مغذی روی می دهد. این مواد معمولاً ناشی از فعالیت های انسانی در حوضه آبریز است [۱۵].

تجزیه زیستی مواد موجود در مخزن می تواند باعث تبدیل جیوه ارگانیک به متیل جیوه شود. تجمع زیستی متیل جیوه در بافت ماهی ها که در بالای زنجیره غذایی هستند چندین برابر بیشتر از ارگانسیم های موجود در پایین زنجیره غذایی است [۱۶]. این امر می تواند پیامدهای قابل توجهی بر مردمی که برای تامین غذای خود وابسته به ماهی ها هستند داشته باشد. برای مثال، در اثر تغذیه از ماهی های صید شده از مخازن سد، میزان جیوه موجود در نمونه های تار موی اهالی منطقه ای در ایالت کبک کانادا بالاتر از محدوده توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (۶ ppm) گزارش شده است [۱۷].

۲-۲-۲- آثار غیرمستقیم:

اثرات احداث سد، جدا از ایجاد اختلال در فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی-بیولوژیکی، اساساً به صورت مکانی متغیر بوده و بستگی به طراحی و نحوه بهره برداری از سد دارد. هر سد خصوصیات منحصر به فرد خود را داراست و در نتیجه مقیاس و طبیعت تغییرات محیطی آن بسیار وابسته به مکان خواهد بود. با این حال این اثرات همواره بر تنوع زیستی محیط قابل مشاهده است. در این بخش به بررسی آثار غیرمستقیم احداث سدها پرداخته می شود.

۲-۲-۲-۲- آثار غیرمستقیم:

۲-۲-۲-۱- شرایط زندگی پرندگان و پستانداران

اهمیت حاشیه های ساحلی یک رودخانه برای پرندگان و حیوانات اثبات شده است (به عنوان نمونه رجوع شود به دیکمیس ه. و همکاران [۱۸]). احداث سد و آب جمع شده در مخزن آن تأثیرات مثبت و منفی بر گونه های ساکن محیط های آبی و خاکی رودخانه دارد. به زیر آب رفتن اکوسیستم نهایتاً منجر به از بین رفتن حیات وحش می شود. در مناطق استوایی، این امر موجب کاهش گونه های بومی و در برخی موارد انقراض برخی گونه های منطقه می شود. در مقابل، در مناطق خشک، مخازن منبعی دائمی از آب را فراهم می کنند که برای بسیاری از گونه ها سودمند واقع می شود. در آفریقای جنوبی، وجود مخازن تأثیر زیادی بر تعداد و توزیع پرندگان آبی داشته است. در انگلستان و ولز، ۱۷۴ مخزن ذخیره آب به خاطر مهیا کردن شرایط مناسب زندگی برای پرندگان و دیگر ارگانسیم های مربوط به عنوان محل های انجام مطالعات تحقیقاتی انتخاب شده اند [۱۹].

مهم ترین اثر منفی تنظیم جریان رودخانه در پایین دست بر زندگی پرندگان و پستانداران، قطع رژیم سیلاب های فصلی در طول رودخانه است [۲۰]. در بلندمدت، کاهش سیلاب منجر به تغییر پوشش گیاهی می شود که ممکن است برای بسیاری از پرندگان و پستانداران اهمیت داشته باشد. در مناطق خشک، پوشش گیاهی ساحلی شاید تنها پوشش گیاهی قابل توجه منطقه باشد و همچنین بسیاری از حیوانات الگوهای رفتاری خود را بر اساس سیلاب های فصلی تطبیق داده باشند. اگر رژیم سیلاب عوض شود، تغییرات پوشش گیاهی می تواند پرندگان و حیوانات وابسته به آن را در معرض خطر قرار دهد.

۲-۲-۲- حرکت و جابه جایی ماهی ها

از ۲۴۶۰۰ گونه شناخته شده ماهی ها حدود ۱۰۰۰۰ گونه (یعنی ۴۰٪) آنها ساکن آب های شیرین هستند [۲۰]. تعدادی بسیار اندکی از ماهی ها توانایی سکونت در هر دو محیط آب ساکن و متحرک را دارا هستند. در نتیجه، تبدیل رودخانه به مخزن اغلب موجب نابودی گونه های ساکن رودخانه می شود. در پایین دست سدها، تغییرات قابل توجهی در جمعیت ماهی ها در اثر عواملی چون بلوکه شدن مسیر مهاجرت ماهی ها، جدایش رودخانه و دشت سیلابی، تغییرات در رژیم جریان و شرایط فیزیوشرمایی (دما، کدورت و اکسیژن محلول)، تولید اولیه و ریخت شناسی کانال به وجود می آید. این تغییرات ممکن است برای برخی گونه ها سودمند باشد اما به طور کلی اثر معکوسی بر اکثریت گونه های بومی خواهد داشت.

در سال ۱۹۹۶ اتحادیه بین المللی حفاظت از طبیعت لیست قرمزی از حیوانات در معرض تهدید شامل ۶۱۷ گونه ماهی های آب شیرین (حدود ۶٪ گونه های شناخته شده ساکن آب شیرین) را معرفی کرد. محققان دیگر تخمین زده اند بین ۲۰ تا ۳۵٪ ماهی های آب شیرین در معرض تهدید هستند [۲۱]. با وجودی که احداث سد تنها عامل تهدید کننده حیات ماهی ها نیست اما یکی از فاکتورهای اساسی در این زمینه است. تخمین زده شده است که در قرن گذشته نیمی از ماهی های بومی ساکن اقیانوس آرام در سواحل آمریکا در اثر احداث سد از بین رفته اند [۲۲].

۲-۲-۳- بتتوس و سایر آبزیان بستر رودخانه

تخمین زده می شود که بین ۸۰۰۰۰ تا ۱۳۵۰۰۰ گونه نرم تنان در سراسر جهان وجود داشته باشد. در اکوسیستم های رودخانه ای، نرم تنان بازه گسترده ای از ساکنان آب های ساکن و متحرک را شامل می شود که بیش از سایر انواع ارگانسیم های موجود در بستر زمین است [۲۳]. با وجود توزیع گسترده، بسیاری از نرم تنان ساکن آب شیرین فقط در شرایط زیستی نسبتاً محدودی قادر به ادامه حیات هستند. در نتیجه، احداث سد به سادگی باعث بهم زدن شرایطی می شود که این جانوران به آن عادت کرده اند. تغییر در رسوب گذاری، جریان و رژیم فیزیکی-شیمیایی رودخانه، می تواند باعث ایجاد تنش و تهدید بقای این گونه ها شود. در مقابل، تغییر در شرایط محیطی، این شانس را برای سایر گونه های غیربومی فراهم می کند که جایگزین آنها شوند. بسیاری از فاکتورهای موثر بر زندگی نرم تنان بلافاصله بعد از اتمام احداث سد تغییر می کنند. اما برخی دیگر نظیر مورفولوژی کانال و ترکیب و پایداری زیرلایه ها به مرور زمان تغییر خواهند کرد. در نتیجه، یک اثر بلندمدت بر اجتماعات نرم تنان در طی سالیان دراز بوجود خواهد آمد. برخی گونه ها چرخه عمری بیشتر از ۱۰۰ سال دارند و این گمان را بوجود می آورند که جمعیت آنها در امان هستند در حالیکه در واقع بعثت عدم وجود تولیدمثل فعال، جمعیت این نرم تنان به مرور دچار انقراض می شود. در شمال آمریکا، مطالعات حاکی از کاهش ۳۷ تا ۹۵ درصد توان تولیدمثل نرم تنان بعد از احداث سد است.

۲-۲-۴- گیاهان و پوشش گیاهی اطراف رودخانه

سدها همچنین می توانند بر پوشش گیاهی اطراف رودخانه و دشت سیلابی که متاثر از اندرکنش پویای سیلاب و رسوب هستند، موثر باشند. سدها، با تغییر مقدار و گستره زیر آب رفتن دشت سیلابی و تعامل زمین و آب، باعث بهم زدن فرایند تولید مثل گیاهان و تجاوز به زمین های مرتفع بالادستی می شود که در حالت عادی مصون از سیلاب بودند. مطالعاتی در نروژ حاکی از کاهش قابل ملاحظه تنوع گیاهان ساحلی در نتیجه احداث سد است [۲۴].

۳- روش های حفاظت از محیط زیست در پروژه های سدسازی

۳-۱- عوامل توسعه حفاظت از محیط زیست

در بسیاری از کشورها، به خصوص با فعالیت سازمان های مردم نهاد، آگاهی های عمومی در مورد اهمیت حفظ محیط زیست و توسعه پایدار افزایش یافته است. در نتیجه فشار افکار عمومی، تعدادی از عوامل محرک استفاده از شاخص های حفاظت از محیط زیست در پروژه های سدسازی به شرح زیر به وجود آمده است:

- ۱- سیاست ها و قوانین: در بالاترین سطوح سیاسی، اجماع فزاینده ای در مورد نیاز به مدیریت با رویکرد توسعه پایدار در محیط زیست و فرآیندهای مرتبط با آب شکل گرفته است. برای مثال می توان از معاهداتی در سطح بین المللی نظیر «اعلامیه محیط زیست و توسعه ریو»، «معاهده تنوع بیولوژیکی»، «معاهده رامسر در مورد حفاظت از تالاب ها» و سیاست ها و قوانین ملی و بین المللی نظیر

و ظرفیت های سازمانی نیز هست. در حال حاضر، کمبود درک علمی یکی از مهم ترین محدودیت ها در حفاظت موثر از محیط زیست است. با وجود تمام تحقیقات انجام شده تاکنون، حتی با مطالعات اختصاصی سایت، معمولاً غیرممکن است که بتوان به طور دقیق تمام آثار احداث سد بر محیط را پیش بینی کرد. همچنان دانش اندکی از مقتضیات زندگی بسیاری از گونه های ساکن وجود دارد. ارتباط بین جنبه های بیوفیزیکی و اجتماعی-اقتصادی سیستم ها حتی کمتر درک شده و در نتیجه پیامدهای مختلف تغییر در اکوسیستم ها قابل پیش بینی نیست. توسعه بنیان دانش علمی، اجتماعی و اقتصادی نیز نیازمند تحقیقات میدانی گسترده و صرف زمان و منابع قابل توجه است. در بسیاری از پروژه ها، منابع مالی برای تخمین اثرات زیست محیطی و همین طور نظارت های پس از ساخت ناکافی است.

محدودیت دیگر ناشی از این حقیقت است که مسئولیت برنامه ریزی، نظارت و تدوین قوانین سدها معمولاً بر عهده نهادهای مختلف است. وجود این سازمان های مختلف، تقسیم وظایف در حیطه مدیریت، هماهنگی و شناخت مسئولیت ها را پیچیده می کند. این مشکل در کشورهایی که سازمان های قوی برای تدوین و اعمال شاخص های زیست محیطی ندارند بیشتر خودنمایی می کند.

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

یکی از مهم ترین مشکلات بشر در سده اخیر، مدیریت پایدار و صحیح منابع طبیعی به خصوص منابع آب شیرین می باشد. رویکرد سنتی و رایج در مدیریت منابع آب شیرین ساخت سد با توجه به تأمین نیاز آبی، تولید انرژی برق-آبی و کنترل سیلاب می باشد. هر چند که امروزه مشخص گردیده است که اثر جمع شدن آب در مخزن سد بر اکوسیستم و گونه های مختلف زیستی قابل نظر نمی باشد. برای کاهش این اثرات نامطلوب، سرمایه گذاری بر روی روش های نوین حفاظت از محیط زیست اجتناب ناپذیر می باشد. از طرف مقابل، مفهوم توسعه پایدار در برنامه ریزی های آبی ساخت سدها باید مورد توجه قرار گیرد. کلیه آثار زیست محیطی یک سد در حیطه حوضه آبریز مربوطه باید در یک مطالعه جامع زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی برآورد گردد. این موضوع ایجاد یک دیدگاه بین رشته ای مابین مهندسين، اکولوژیست ها و متخصصین مسائل اقتصادی-اجتماعی مهم و بنیادی می سازد. عدم درک صحیح هیدرولیکی-اکولوژیکی به عنوان یک محدودیت بزرگ در حفاظت صحیح و موفق زیست محیطی باقی می ماند.

منابع

- [۱] McAllister, D. E., Hamilton, A. L. & Harvey, B. (۱۹۹۷). Global freshwater biodiversity: striving for the integrity of freshwater ecosystems. Sea-Wind Bulletin of Ocean Voice International, ۱۴۰-۱, ۱۱(۳).
- [۲] Revenga, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K. & Payne, R. (۲۰۰۰). Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems. World Resources Institute, Washington, DC.
- [۳] Bergkamp G., McCartney, M., Dugan, P., McNeely, J. & Acreman, M. (۲۰۰۰). Dams, ecosystem functions and environmental restoration: Thematic Review II. World Commission on Dams, Cape Town.
- [۴] Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedle, J. R. & Cushman, C. E. (۱۹۸۰). The river continuum concept. Canadian, Journal of Fisheries and Aquatic Science, ۳۷, ۱۳۰-۱۳۷.
- [۵] Helfman, G. S., Collette, B. B. & Facey, D. E. (۱۹۹۷). The Diversity of Fishes. Blackwell Science, Massachusetts.
- [۶] Ward, J. V. & Stanford, J. A. (۱۹۹۵). Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. Regulated Rivers:

«دستورالعمل چارچوب آب اتحادیه اروپا» و «قانون آب آفریقای جنوبی» اشاره کرد. این قوانین و سیاست ها در پی حفظ محیط زیست و به رسمیت شناختن حق اکوسیستم ها در داشتن آب کافی است. با وجود اینکه این سیاست ها به طور خاص در مورد سدها نیست، اما دولت ها را موظف می کند که با توسعه منابع طبیعی و استفاده پایدار از آنها، زمینه را برای اجرای شاخص های محیط زیستی در پروژه های سد سازی مهیا کنند.

۲- شرایط پشتیبانی مالی: سیاست ها و الزامات نهادهای سرمایه گذاری نظیر بانک جهانی، اتحادیه اروپا، آژانس استرالیایی توسعه بین المللی و آژانس امریکایی توسعه بین المللی باعث گنجانیدن شاخص های حفظ محیط زیست در پروژه های سد سازی شده است. بر این اساس، و ام ها فقط به پروژه های تعلق خواهد گرفت که شاخص های محیط زیستی را رعایت کنند. با این حال، یکی از محدودیت هایی که این نهادهای مالی دست به گریبان آن هستند این است که بعد از ساخت و بهره برداری از یک سد، توانایی آنها برای اجبار به بکارگیری برنامه های موثر محیط زیستی محدود خواهد شد.

۳- آئین نامه ها: کمیته بین المللی سدهای بزرگ، آژانس بین المللی انرژی و انجمن بین المللی انرژی برقایی دستورالعمل هایی را برای بکارگیری بالاترین استانداردها در برنامه ریزی و اجرا پروژه های سد سازی تدوین کرده اند. این دستورالعمل ها شامل راه هایی برای حفظ محیط زیست هستند (به عنوان نمونه می توان به ICOLD، ۱۹۹۷؛ IEA، ۲۰۰۰؛ IHA، ۲۰۰۶ اشاره نمود). در حال حاضر، اجباری برای استفاده از این دستورالعمل ها وجود ندارد، اما بسیاری از شرکت ها از تبعات منفی ای که در اثر عدم استفاده از بالاترین استانداردها در پروژه ها گریبان گیر آنها می شوند آگاه هستند و خود را ملزم به رعایت آنها می دانند.

۳-۲- روش های حفاظت از محیط زیست

برای سدهای موجود، مهندسين و محققین حیطه محیط زیست و اکوسیستم ها اقدامات فنی و اقتصادی-اجتماعی زیادی را برای کاهش اثرات مخرب سد توسعه داده اند. مجموعه این اقدامات در ۳ چارچوب زیر قابل بیان است:

۱- اقدامات اجتنابی: این اقدامات باعث تغییری در کارکرد محیط زیستی کنونی منطقه نمی شود. در سد سازی این بدان معناست که با جایگزینی گزینه هایی نظیر مدیریت مصرف، بازیابی آب و استحصال آب به جای احداث سد یا جایگزینی نیروگاه های برقایی با نیروگاه های خورشیدی، بادی، هسته ای و ... از آثار مخرب سد جلوگیری شود. همه این گزینه ها دارای پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی ای هستند که باید در مقابل پیامدهای احداث سد، وزن دهی و ارزشیابی شوند.

۲- اقدامات کاهششی: این اقدامات با تغییر در سازه یا عملکرد سد و یا اعمال تغییراتی در مدیریت حوضه آبریزی که سد در آن واقع است، اثرات نامطلوب سد را تا جایی ممکن کاهش می دهند. تاکنون، اقدامات کاهششی بیشترین رویکردی بوده که برای کاهش اثرات منفی سد بر محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته است. برای بالا بردن شانس موفقیت این روش ها در هر پروژه مشخص، باید فهم عمیقی از فرآیندهای پیچیده محیط و تعاملات آنها با یکدیگر وجود داشته باشد. اگر پیش از این اقدامات، مطالعات علمی و مهندسی کاملی صورت نگیرد، نتیجه کار می تواند کم اثر و یا حتی گاهی اوقات نامطلوب نیز باشد.

۳- اقدامات جبرانی: این اقدامات وقتی به کار گرفته می شود که امکان انجام هیچ یک از دو مورد اشاره شده قبلی وجود نداشته باشد. رویکردهای اساسی شامل حفاظت از مناطق اکولوژیکی مهم موجود (مثلاً ایجاد پارک های ملی) و نیز توانبخشی دوباره به مناطق دست خورده کنونی در اطراف سدها است. به طور ایده آل، به کمک «فرآیند تخمین اثر محیط زیستی می توان اقدامات حفاظتی مناسب را شناسایی کرده و اثرات منفی را به حداقل رساند. برای سدهای موجود، این اقدامات شامل ساماندهی نیز می شود. در بحث ساماندهی تلاش بر این است که با انجام اقداماتی تا جای ممکن شرایط محل به حالت قبلی خود بازگردد. در این زمینه، انهدام سد به طور فزاینده به عنوان یک گزینه جدی مورد توجه قرار گرفته است [۲۶، ۲۵].

۳-۳- محدودیت های موجود در حفاظت از محیط زیست

اقدامات حفاظتی اشاره شده در برخی شرایط موفق اند و در برخی دیگر موثر نیستند [۲۷]. محدودیت های موجود در زمینه حفاظت موفق از محیط زیست فقط به خاطر مسائل فنی نیست، بلکه به خاطر کمبودهای انسانی، اقتصادی

Rivers: Research & Management, ۷۱-۶۳, (۲-۱)۸.

[۲۴] Nilsson, C., Jansson, R. & Zinko, U. (۱۹۹۷). Long-term responses of river-margin vegetation to water-level regulation. Science, ۸۰۰-۷۹۸, (۵۳۱۳)۲۷۶.

[۲۵] Shuman, J. R. (۱۹۹۵). Environmental considerations for assessing dam removal alternatives for river restoration. Regulated.

[۲۶] Tucker, M. (۲۰۰۱). The Northwest US dam breaching decision: factors, costs and benefits. Environment, Development and Sustainability, ۲۲۷-۲۱۷, (۳)۳.

[۲۷] Bergkamp G., McCartney, M., Dugan, P., McNeely, J. & Acreman, M. (۲۰۰۰). Dams, ecosystem functions and environmental restoration: Thematic Review II.۱. World Commission on Dams, Cape Town.

Research & Management, ۱۱۹-۱۰۵, (۱)۱۱.

[۷] McCartney, M. P. & Acreman, M. C. (۲۰۰۱). Managed flood releases as an environmental mitigation option. International

[۸] مهاجری س. ح., نجیبی س. ا. (۱۳۹۴). مروری بر کاربرد روش رسوب-شویی در مخازن سدها: مطالعه موردی سد سفیدرود. سومین سیمپوزیم بین المللی مهندسی محیط زیست و آب. تهران، ایران

[۹] مهاجری س. ح., صفزاده ا. (۱۳۹۴). مطالعه عددی بازدهی رسوب-شویی در استخراج رسوب ته-نشین شده در مخازن. نشریه سد و نیروگاه برق-آبی، دوره ۲، شماره ۶

[۱۰] Tigrek, S. & Aras, T. (۲۰۱۱). Reservoir Sediment Management, Taylor & Francis.

[۱۱] Saltveit, S. V. (۱۹۹۰). Effect of decreased temperature on growth and smoltification of juvenile Atlantic Salmon (*Salmo Salar*) and brown trout (*Salmo Trutta*) in a Norwegian regulated river. Regulated Rivers: Research & Management, ۳۰۳-۲۹۵, (۴)۵.

[۱۲] Carolli, M. Bruno, M. C. Siviglia, A. Maiolini, B. (۲۰۱۲), Responses of benthic invertebrates to abrupt changes of temperature in flume simulations, River Research And Applications, ۶۹۱-۶۷۸, ۲۸.

[۱۳] Petts, G. E. (۱۹۸۴). Impounded Rivers: Perspectives for Ecological Management. John Wiley & Sons, Chichester.

[۱۴] Schreiber, J. D. & Rausch, D. L. (۱۹۷۹). Suspended sediment - phosphorous relationships for the inflow and outflow of a flood detention reservoir. Journal of Environmental Quality, ۵۱۴-۵۱۰, ۸.

[۱۵] Chapman, M. A. (۱۹۹۶). Human impacts on the Waikato river system, New Zealand. Geojournal, ۴۰-۹۹-۸۵, (۲).

[۱۶] Bodaly, R. A., Hecky, R. E. & Fudge, R. J. P. (۱۹۸۴). Increases in fish mercury levels in lakes flooded by the Churchill River diversion, northern Manitoba. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, ۶۹۱-۶۸۲, (۴)۴۱.

[۱۷] Dumont, C. (۱۹۹۵). Mercury and health: The James Bay Cree experience. Proceedings of the Canadian Mercury Network

[۱۸] Decamps, H., Joachim, J. & Lauga, J. (۱۹۸۷). The importance for birds of the riparian woodlands within the alluvial corridor of the river Garonne, S.W. France. Regulated Rivers: Research & Management, ۳۰۱, (۴)۳۱۶.

[۱۹] Moore, D. & Driver, A. (۱۹۸۹). The conservation value of water supply reservoirs. Regulated Rivers: Research & Management, ۲۱۲-۲۰۳, (۲)۴.

[۲۰] Nilsson, C. & Dynesius, M. (۱۹۹۴). Ecological effects of river regulation on mammals and birds: a review. Regulated Rivers: Research & Management, ۵۳-۴۵, (۱)۹.

[۲۱] Moyle, P. B. & Leidy, R. A. (۱۹۹۲). Loss of biodiversity in aquatic ecosystems: evidence from fish faunas. In Conservation.

[۲۲] Chatterjee, P. (۱۹۹۷). Dam busting. New Scientist, ۳۷-۳۴, ۲۰۸۲.

[۲۳] Layzer, J. B., Gordon, M. E. & Anderson, R. M. (۱۹۹۳). Mussels: the forgotten fauna of regulated rivers—a case study of the Caney Fork River. Regulated

بررسی تاثیر بستن گذرگاه شهید کلانتری بر تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده از مدل هیدرودینامیک دوبعدی MOHID Water



فصلنامه علمی تخصصی

مهندسی و مدیریت ساخت

سال اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵

نویسنده مسئول: حمید حسن رزی

آدرس ایمیل:

H.hamidi@modares.ac.ir

حمید حسن رزی*

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

مهدي مظاهري

استاديار گروه مهندسي سازه هاي آبي، دانشكده كشاورزي، دانشگاه تربیت مدرس

جمال محمد ولی سامانی

استاد گروه سازه های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

مارکوس کاروالینو فرناندز

گروه تحقیقاتی آب و هوا و اقیانوس شناسی، موسسه تحقیقات دریایی، بلژیک

چکیده:

در این تحقیق تاثیر بستن گذرگاه شهید کلانتری بر تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده از مدل هیدرودینامیک دوبعدی MOHID مورد بررسی قرار گرفت. سناریوهای در نظر گرفته شده عبارتند از: (۱) سناریوی ادامه وضع موجود و (۲) سناریوی بستن کامل گذرگاه شهید کلانتری. در این تحقیق از داده های دوره آماری سال ۲۰۰۰ تا سپتامبر ۲۰۰۸ استفاده شده است. مدل برای هر یک از سناریوها اجرا گردید. نتایج برای سناریوی ادامه وضع موجود نشان داد که وضعیت تراز آب دریاچه در انتهای دوره تقریباً مشابه وضعیت کنونی آن می ماند و در این حالت تراز اکولوژیک ۱/۲۷۴ متر دریاچه حفظ نمی شود. در سناریوی بستن کامل گذرگاه شهید کلانتری، بخش شمالی گذرگاه تقریباً در طی مدل سازی خشک می شود، ولی بخش جنوبی گذرگاه با بیشترین تراز آب ۳۴/۱۲۷۴ متر، شرایط بهتری را نسبت به بخش شمالی و سناریوی ادامه وضع موجود تجربه می کند.

کلمات کلیدی: گذرگاه شهید کلانتری، دریاچه ارومیه، تراز آب، مدل هیدرودینامیک دوبعدی MOHID water.

Review of The effect closing martyr kalantary station on level of water lake with using two-dimensional hydrodynamic model MOHID Water

Hamid Hasan Razi*

Graduate student hydraulic structures, water structures Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University

Mahdi Mazahery

Assistant Professor Department of Water Engineering, College of Agriculture, Tarbiat Modarres University

Jamal Mohammadvali Samani

Professor Department of Hydraulic Structures, College of Agriculture, Tarbiat Modarres University.

Marcus Carol Jalyn Fernandez

Weather and oceanographic research group, the Institute of Marine Research, Belgium



V. 01 No. 02 - Summer
2016

Corresponding author:
Hamid Hassan Razi

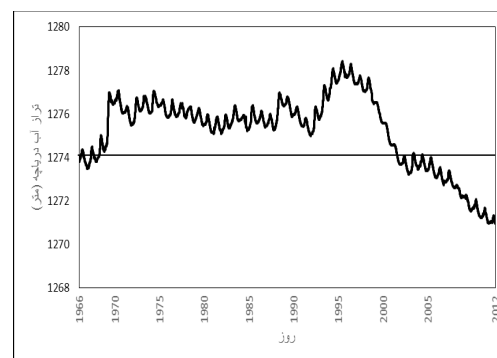
Email address:

H.hamidi@modares.ac.ir

۱- مقدمه:

در سال های اخیر روند نزولی تراز دریاچه ارومیه نگران کننده و مشکل ساز شده است. دریاچه ارومیه به دلیل برخورداری از ارزش های بی نظیر طبیعی و اکولوژیکی، به عنوان پارک ملی [۱]، سایت رامسر [۲] و ذخیره گاه زیست کره یونسکو [۳] معرفی شده است. این دریاچه در یک ناحیه نیمه خشک با دمای متوسط سالانه ۱۱/۲ درجه سانتی گراد و به ترتیب با متوسط نرخ بارش و تبخیر ۳۴۱ و ۱۲۰۰ میلی متر در هر سال قرار گرفته است [۴]. به طور کلی تنوع زیستی آبزیان و تولید مثل آنها به دلیل شوری بالای دریاچه محدود شده است. از مهمترین آبزانی که در دریاچه زیست می کنند، گونه میگوی شورپسند آرتیمیا می باشد و هیچ گیاهی بغیر از فیتوپلانکتون در داخل دریاچه یافت نمی شود [۵]. اخیراً، این دریاچه به دلیل خشکسالی های رخ داده در طی سال های اخیر و کم شدن نزولات، و همچنین کم شدن جریان آب رودخانه های ورودی به دریاچه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به طوری که دریاچه ارومیه با کارکرد های مختلف زیست محیطی، اقتصادی و گردشگری هم اکنون در حال نابودی بوده و در دهه های اخیر یکی از بحرانی ترین شرایط خود را تجربه می کند. طبق گزارش های ارائه شده، سطح و تراز آب دریاچه ارومیه به ترتیب از مقادیر ۶۱۰۰ کیلومتر مربع و ۱۲۷۸ متر از سطح آب های آزاد [۶]، به کمتر از ۲۰۰۰ کیلومتر مربع و زیر ۱۲۷۰ متر کاهش پیدا کرده است [۷].

متوسط بلندمدت سالانه آب ورودی به دریاچه ۵ میلیارد مترمکعب بوده است که در سالیان اخیر این رقم به دلیل کاهش بارش و رواناب در سطح حوضه و همچنین برداشت های بالادست به طور متوسط به کمتر از ۲/۵ میلیارد متر مکعب رسیده است. بر اساس مطالعات انجام شده طی دهه اخیر [۸] [۱]، مادامی که تراز آبی دریاچه بیش از ۱۲۷۴/۱ متر از سطح باشد، دریاچه به عملکرد عادی اکولوژیک خود برای حفظ تنوع زیستی و تولید آرتیمیا ادامه خواهد داد. کاهش سطح آب دریاچه از میزان مذکور، اثری منفی بر کارکردهای اکولوژیک دریاچه خواهد گذاشت. در یک دهه گذشته، علاوه بر کاهش چشمگیر ریزش های جوی و بروز خشکسالی های پیپای، افزایش طرح های توسعه و بهره برداری از آب جهت مصارف کشاورزی و سایر کاربری ها، منجر به کاهش جریانات ورودی به دریاچه شده است. همچنین احداث بزرگراه شهید کلاتری نیز شرایط هیدرودینامیک دریاچه را تحت تأثیر قرار داده است. در شکل ۱ تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه در ۴۷ سال اخیر نشان داده شده است. با توجه به این شکل، در حال حاضر دریاچه بحرانی ترین وضعیت خود را در دهه های اخیر تجربه می کند و تقریباً از سال ۲۰۰۲ به بعد، تراز آب دریاچه به زیر تراز اکولوژیک (۱۲۷۴/۱ متر) رسیده است.



شکل ۱. تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه در ۴۷ سال اخیر و تراز اکولوژیک دریاچه

واضح است که ادامه وضع موجود و توسعه ناپایدار فعالیت های آبی در حوضه دریاچه ارومیه با توجه به خشکسالی های اخیر می تواند آینده این پهنه آبی مهم را از وضعیت کنونی آن نیز بحرانی تر ساخته و به نابودی کامل آن منجر شود. با توجه به مطالب ذکر شده لزوم فعالیت های

جدی در جهت احیای دریاچه ارومیه بسیار واضح می نماید. با توجه به موقعیت جغرافیایی و سیاسی دریاچه ارومیه و همچنین وابستگی معیشتی، هویتی و تاریخی مردم منطقه به آن، موضوع احیای دریاچه و جلوگیری از خشک شدن آن با مسئولیت وزیر نیرو و با حضور وزیران جهاد کشاورزی و کشور و معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و رئیس سازمان محیط زیست، به ریاست معاون اول رئیس جمهور در تاریخ ۱۳۹۲/۷/۲۵ تشکیل گردید. در همین راستا، ستاد احیای دریاچه ارومیه متشکل از متخصصان و کارشناسان خبره در زمینه های مرتبط، برای بررسی و مطالعه علمی عوامل خشک شدن دریاچه و ارائه راهکارهای علمی جهت احیای دریاچه ارومیه پرداختند. با توجه به فعالیت های کارگروه احیای دریاچه ارومیه، سناریوها و راه حل های متفاوتی جهت احیای دریاچه ارومیه و بهبود وضعیت موجود آن مطرح است. در این پژوهش، شبیه سازی و پیش بینی تراز آب دریاچه ارومیه برای سناریوی بستن کامل گذرگاه شهید کلاتری و قطع ارتباط بخش شمالی و جنوبی آن (S2) نسبت به سناریوی وضع موجود (S1) دریاچه مورد بررسی قرار خواهند گرفت. به منظور بررسی و اجرای این پژوهش، از یک مدل هیدرودینامیکی دو بعدی به نام MOHID Water استفاده شده است. برای اجرای مدل از داده های دوره آماری سال ۲۰۰۰ تا سپتامبر ۲۰۰۸ استفاده شده است. این دوره به دلیل کامل بودن اطلاعات مربوط به بارندگی، تبخیر و تراز سطح آب دریاچه و همچنین با توجه به تسریع خشکی و افت شدید تراز آب دریاچه در طی این دوره انتخاب شده است.

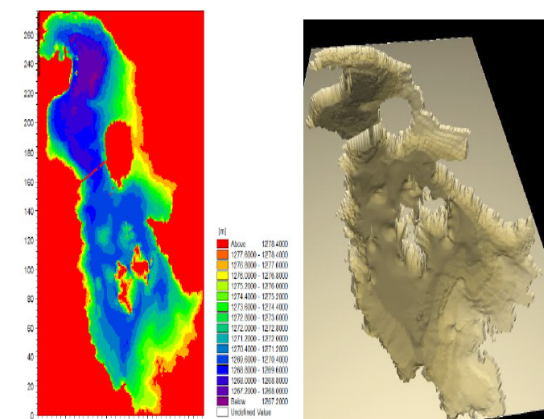
۲- مواد و روش

۲-۱- معرفی منطقه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با وسعت ۵۲۰۰۰ کیلومتر مربع در ناحیه کوهستانی شمال غربی ایران و بین استان های آذربایجان غربی، شرقی و کردستان واقع شده است. مساحت دریاچه ارومیه در حدود ۵۰۰۰ کیلومتر مربع بوده و بین استان های آذربایجان غربی و شرقی مشترک است [۹]. این دریاچه در میان یک حوضه آبریز بسته، بین ۳۷ درجه و ۰۴ دقیقه عرض شمالی و ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی در شمال غربی ایران واقع شده است [۸] و رودخانه های حوضه آبریز در نهایت وارد دریاچه می شوند.

۲-۲- توپوگرافی بستر دریاچه

یکی از مهم ترین ورودی های مدل های هیدرودینامیک، توپوگرافی دامنه حل می باشد. در واقع، توپوگرافی بستر دریاچه روی مسیر حرکت جریان آب، پهنه آب و کلیه پارامتر های جریان اثر گذار می باشد. توپوگرافی بستر دریاچه ارومیه در سال ۱۳۹۰ توسط مؤسسه تحقیقات آب برداشت شده و دارای دقت مطلوبی می باشد. البته ذکر این نکته ضروری است که به دلیل تشکیل بستر دریاچه ارومیه از نمک، تغییرات کوتاه مدتی می تواند در بستر دریاچه به دلیل پدیده های انحلال و ترسیب نمک صورت گیرد. شکل ۲ توپوگرافی بستر دریاچه را در حالت های دوبعدی و سه بعدی نشان می دهد.



شکل ۲. توپوگرافی بستر دریاچه ارومیه (گزارش مدل سازی هیدرودینامیک دوبعدی دریاچه ارومیه، ۱۳۹۳).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u \partial u}{\partial x} + \frac{v \partial u}{\partial y} + \frac{w \partial u}{\partial z} - f v = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u \partial v}{\partial x} + \frac{v \partial v}{\partial y} + \frac{w \partial v}{\partial z} + f u = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0 \quad (4)$$

که در روابط بالا u ، v و w به ترتیب عناصر سرعت در جهات x ، y و z ، پارامتر کوریولیس، An ضریب ویسکوزیته توربلانت در جهت افقی، Av ضریب ویسکوزیته توربلانت در جهت قائم، p فشار، Pr دانسیته مرجع و ρ چگالی آب می باشد که بر اساس معادله UNESCO محاسبه می شود که به صورت تابعی از دما و شوری می باشد [۱۲].

۲-۶- برپایی مدل دوبعدی MOHID water برای دریاچه ارومیه

در این قسمت موارد و مراحل مربوط به اجرای مدل دو بعدی MOHID Water برای دریاچه ارومیه توضیح داده می شود. همان طوری که قبلاً نیز اشاره شد، در این تحقیق برای مدل سازی از نسخه ۲۰۱۵ MOHID Water استفاده شده است.

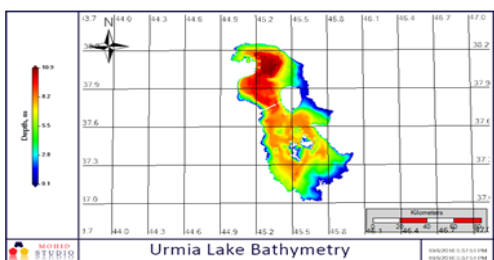
۲-۶-۱ محدوده مکانی و زمانی مدل سازی

جدول ۱ محدوده مکانی و زمانی مدل سازی را نشان می دهد

جدول ۱. محدوده مکانی و زمانی مدل سازی

محدوده مکانی (UTM-۲۸N)	(۵۸۹۶۰۰، ۵۰۹۸۰۸۳)	(۵۸۹۶۰۰، ۵۰۹۸۰۸۳)
محدوده مکانی (WGS-۱۹۸۴)	(۳۹°۱۶'۱۹" N، ۴۸°۵۹'۱۷" E)	(۳۹°۱۶'۱۹" N، ۴۸°۵۹'۱۷" E)
طول و عرض محدوده مدل سازی	۹۰۵ km × ۷۱ km	
محدوده زمانی (تقریبی نسبی)	از ۱۳۹۸/۱/۱۱ تا ۱۳۹۸/۶/۲۰ معادل ۸ سال و ۵ ماه و ۲۰ روز	
محدوده زمانی (تقریبی مطلق)	از ۱۳۹۸/۱/۱۱ تا ۱۳۹۸/۶/۲۰ معادل ۸ سال و ۵ ماه و ۲۰ روز	

۲-۶-۲ ایجاد DTM توپوگرافی بستر دریاچه برای انجام مدل سازی همان طوری که قبلاً توضیح داده شد، توپوگرافی بستر دریاچه ارومیه توسط مؤسسه تحقیقات آب در سال ۱۳۹۰ برداشت شده است. شکل ۵ DTM توپوگرافی بستر، ساخته شده توسط مدل به منظور مدل سازی



۲-۳ داده های مربوط به دبی رودخانه های ورودی به دریاچه ارومیه

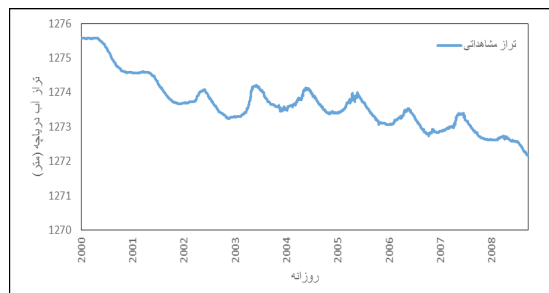
در این تحقیق تعداد ۱۸ رودخانه منتهی به دریاچه ارومیه برای مدل سازی لحاظ گردیده است. دبی این رودخانه ها به صورت روزانه و با استفاده از ایستگاه آبسنجی مربوط به هر رودخانه، به صورت ورودی به مدل معرفی گردید. در شکل ۳ رودخانه ها، ایستگاه های آبسنجی و موقعیت مربوط به هر رودخانه نشان داده می شود.

طول عرض ارتفاع	ایستگاه نام ایستگاه	رودخانه	طول عرض ارتفاع	ایستگاه نام ایستگاه	رودخانه
۳۶-۳۲	۱۲۸۰	آذربایجان غربی	۳۴-۳۰	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی
۳۵-۳۱	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی	۳۴-۲۰	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی
۳۵-۳۱	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی	۳۴-۲۰	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی
۳۵-۳۱	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی	۳۴-۲۰	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی
۳۵-۳۱	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی	۳۴-۲۰	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی
۳۵-۳۱	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی	۳۴-۲۰	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی
۳۵-۳۱	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی	۳۴-۲۰	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی
۳۵-۳۱	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی	۳۴-۲۰	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی
۳۵-۳۱	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی	۳۴-۲۰	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی
۳۵-۳۱	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی	۳۴-۲۰	۲۴-۲۰	آذربایجان غربی

شکل ۳. فهرست و مشخصات ایستگاه های آبسنجی مورد استفاده (مدلسازی و ارزیابی گزینه های مدیریت سطح دریاچه ارومیه، ۱۳۹۴)

۲-۴ داده های مربوط به تراز آب دریاچه ارومیه

در این تحقیق تمام داده های تراز آب دریاچه مربوط به ایستگاه گلمانخانه می باشد. داده های مشاهداتی تراز آب دریاچه در طول دوره مدل سازی جهت واسنجی پارامترهای مورد واسنجی، استفاده شده اند. شکل ۴ تراز آب دریاچه ارومیه را به صورت روزانه در طول دوره مدل سازی نشان می دهد.



شکل ۴. تراز آب دریاچه بصورت روزانه در طول دوره مدل سازی

۲-۵ مدل

مدل مورد استفاده در اجرای سناریوهای معرفی شده، مدل هیدروینامیک دوبعدی MOHID Water نسخه ۲۰۱۵ می باشد که توسط MARTEC (مرکز تحقیقات تکنولوژی محیط زیست و دریا) در مؤسسه IST متعلق به دانشگاه صنعتی لیسبون توسعه پیدا کرده است [۱۰]. در این تحقیق از مدول MOHID Water این نرم افزار استفاده شده است که برای شبیه سازی محیط های آبی (اقیانوس ها، مصب، مخازن، دریاچه و ...) بکار گرفته می شود. مدل مذکور با استفاده از مش های مربع-مستطیلی و حل معادلات دوبعدی مربوط به جریان، به محاسبه متغیرهای مربوطه در پهنه مورد نظر می پردازد. این مدل هیدروینامیکی، معادلات ناویه-استوکس را با در نظر گرفتن تقریب های هیدرواستاتیکی و بوزینسک حل می کند. MOHID Water همچنین معادلات حرکت را با استفاده از یک شبکه Arakawa-C اورتوگونال حل می کند. این معادلات به صورت عددی با استفاده از رویکرد حجم محدود حل می شوند و گسسته سازی زمانی با استفاده از یک الگوریتم نیمه ضمنی ADI انجام می شود [۱۱]. معادلاتی که در این مدل حل می شوند به صورت زیر می باشند:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

۲-۳- سایر ورودی های مدل

جدول ۲ سایر ورودی های مدل دوبعدی MOHID Water را در مدل سازی وضعیت هیدرودینامیکی و تراز آب دریاچه ارومیه نشان می دهد.

جدول ۲. سایر ورودی های مدل هیدرودینامیک دوبعدی MOHID Water

ورودی	مقدار	ورودی	مقدار
ضریب نری مانینگ	۰.۰۲۵	شرایط اولیه	۱۳۹۵/۵/۸ متر از سطح دریا
ضریب باد	۰.۰۰۱۵	دبی رودخانه های ورودی به دریاچه	سری زمانی دبی روزانه رودخانه ها با ابعاد ضریب ۳
لزوجة گردابه ای	صفر	بارندگی	سری زمانی بارندگی روزانه از ایستگاه پاد
پارامتر تری و عکسگی	مقیاس آستانه آب برای تعیین مناطق تری و عکسگی ۳ سانتی متر در نظر گرفته شد.	تبخیر	سری زمانی تبخیر روزانه از ایستگاه پاد با ابعاد ضریب ۵
شرایط مرزی	محیط پیرامون دریاچه (مرزهای دریاچه و جزیره ها بصورت زمین در نظر گرفته شدند).	سرعت باد و جهت باد	سری زمانی داده منطقه از ایستگاه سینوپتیک
مشی	۱۰۰ متر ۵۰۰ متر	دما و رطوبت نسبی	سری زمانی داده منطقه از ایستگاه سینوپتیک
گرم زمانی	۳۰۰۰ کلوپ	عدد کورت	۱۰

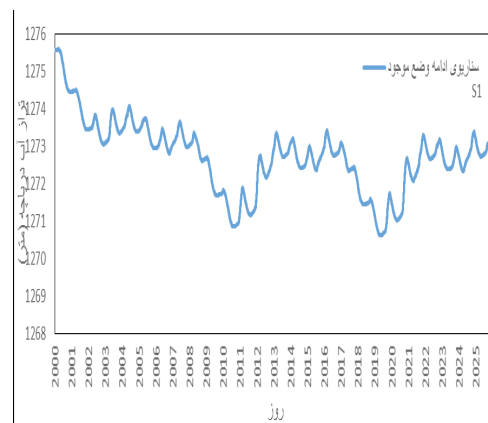
*: β و α به ترتیب ضرایب اعمالی برای مناطق بافری برای تبخیر از آب شور و دبی رودخانه های ورودی از محل ایستگاه آبسنجی تا محل ورود به دریاچه می باشد که بعد از واسنجی مدل به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۳۲ بدست آمدند.

با توجه به جدول فوق، مقدار هر یک از ضرایب توسط واسنجی مدل بدست آمد. همچنین لازم بذکر است که با توجه به اینکه سرعت حرکت آب در دریاچه پایین است، مقدار لزوجة گردابه ای نقش مؤثری ایفا نمی کند و لذا مقدار آن برابر با صفر در نظر گرفته شد. مقدار عدد کورانت با توجه به توصیه های شرکت MARTEC، که برای مدل سازی اقیانوس ها و بدنه های آبی جزرومدی مقادیر ۵-۴ و برای مخازن و دریاچه های مقادیر ۱۰-۵ مناسب می باشد، انتخاب گردید. ضریب باد برابر با مقدار توصیه شده توسط مدل برابر ۰/۰۱۵ لحاظ شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- سناریوی ادامه وضع موجود (S1)

شکل ۶ پیش بینی تراز آب دریاچه ارومیه را برای سناریوی S1 نشان می دهد. همان طور که از گراف این شکل پیداست، در صورت ادامه وضع موجود (سناریوی S1) تراز آب دریاچه کمترین مقدار ۱۲۷۰/۶۲۵ متر را تجربه خواهد کرد. در پایان دوره (۳/۲/۲۰۲۶) نیز تراز آب دریاچه به مقدار ۱۲۷۲/۳۲۹ متر می رسد. همچنین با توجه به اینکه تراز کف دریاچه ۱۲۶۸ متر نسبت به سطح آب های آزاد می باشد، بنابراین می توان نتیجه گرفت که دریاچه ارومیه با ادامه روند وضع موجود، با وجود قرار گرفتن در شرایط بحرانی و داشتن تراز آب کمتر از تراز اکولوژیکی (۱۲۷۴/۱) متر، خشک نخواهد شد.

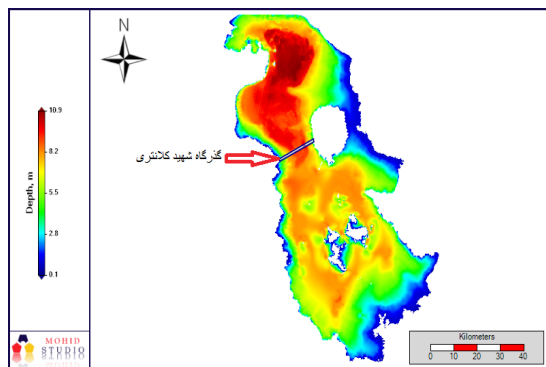


شکل ۶. تراز آب دریاچه ارومیه تحت سناریوی S1

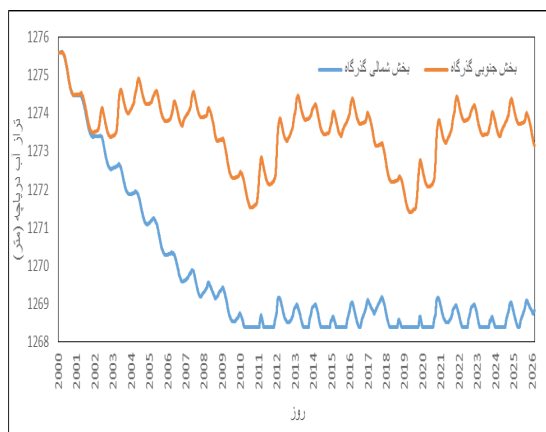
۳-۲- سناریوی بستن کامل گذرگاه شهید کلانتری (S2)

در شکل ۷ محل بستن کامل گذرگاه شهید کلانتری برای مدل سازی سناریوی S2 نشان داده می شود. همان طوری که مشاهده می شود، این قسمت از دریاچه بصورت یک دایک عمل می کند و ارتباط جریان آب بین دو طرف گذرگاه بطور کلی قطع می شود. شکل ۸ پیش بینی تراز آب دریاچه ارومیه را برای حالتی که ارتباط بخش شمالی و جنوبی گذرگاه شهید کلانتری قطع می شود (S2)، نشان می دهد. همان طور که این شکل نشان می دهد، تراز آب دریاچه در بخش شمالی گذرگاه با گذشت زمان مدل سازی به صورت نزولی کاهش پیدا می کند و در پایان دوره مدل سازی به کمترین تراز آب با مقدار ۱۲۶۸/۱۶ متر می رسد. در مقابل، در بخش جنوبی گذرگاه با گذشت زمان مدل سازی تراز آب دریاچه علیرغم کاهش نسبت به تراز آب در زمان شروع، در دوره هایی از مدل سازی تراز اکولوژیکی دریاچه حفظ می شود و در کمترین حالت مقدار ۱۲۷۱/۴ متر را نیز تجربه می کند.

بنابراین با توجه به نمودارهای تراز آب در بخش های شمالی و جنوبی گذرگاه، تراز آب دریاچه در بخش شمالی با گذشت زمان به کمترین مقدار خود رسیده و روند آن از یک الگوی ثابتی پیروی می کند در دوره هایی این بخش از دریاچه خشک می شود. همچنین تراز آب در بخش جنوبی با گذشت زمان شرایط نوسانی را تجربه می کند، به طوری که در دوره هایی از مدل سازی تراز آب بیشتر از تراز اکولوژیکی (۱۲۷۴/۱) متر می شود و کمترین تراز آب با مقدار ۱۲۷۱/۴ متر را نیز طی این دوره تجربه می کند.



شکل ۷. بستن کامل گذرگاه شهید کلانتری از روی توپوگرافی بستر دریاچه ارومیه



شکل ۸. تراز آب دریاچه ارومیه تحت سناریوی S2

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از مدل هیدرودینامیک دوبعدی MOHID Water، تأثیر بستن گذرگاه شهید کلانتری بر روی تراز آب دریاچه ارومیه بررسی گردید. همچنین برای این منظور، سناریوی ادامه وضع موجود دریاچه ارومیه نیز برای مقایسه بهتر وضعیت تراز آب دریاچه اعمال و با استفاده از مدل شبیه سازی گردید. تمام پیش بینی های انجام شده در این تحقیق بر اساس دوره آماری

منابع

۱. Abbaspour, M. and Nazaridoust, A. (۲۰۰۷). Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: an ecological approach. *International Journal of Environmental Studies*, ۱۶۹-۱۶۱, (۲)۶۴.
۲. Ramsar Convention. Available from: <https://rsis.ramsar.org/>.
۳. UNESCO Biosphere Reserves. Available from: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/asia-and-the-pacific/>.
۴. Djamali, M., et al. (۲۰۰۸). A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran. *Quaternary Research*, ۴۲۰-۴۱۳, (۳)۶۹.
۵. Ghaheeri, M., Baghal-Vayjoee M.H. and Naziri, J. (۱۹۹۹). Lake Urmia, Iran: A summary review. *International Journal of Salt Lake Research*, ۲۲-۱۹, (۱)۸.
۶. Eimanifar, A. and F. Mohebbi, Urmia Lake (Northwest Iran): A brief review. *Saline Systems*, ۱)۲۰۰۷/۳).
۷. مقدسی، م. مرید، س.، دلاور، م.، عرب پور، ف. (۱۳۹۴). رویکرد مدیریت مصرف آب بخش کشاورزی در راستای احیای دریاچه ارومیه. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۱(۱).
۸. Sima, S. and Tajrishy, M. (۲۰۱۳). Using satellite data to extract volume-area-elevation relationships for Urmia Lake, Iran. *Journal of Great Lakes Research*, ۹۰: (۱)۳۹-۹۹.
۹. کارگروه احیای دریاچه ارومیه، (۱۳۹۳). گزارش مدل سازی هیدروپنوماتیک دوبعدی دریاچه ارومیه.
۱۰. Webpage. Available from: <http://www.mohid.com/>.
۱۱. Vaz, N., J.M. Dias, and P.C. Leit o. (۲۰۰۹). Three-dimensional modelling of a tidal channel: the Espinheiro Channel (Portugal). *Continental Shelf Research*. ۲۹(۱): ۲۹-۴۱.
۱۲. Franz, G., et al. (۲۰۱۴). Implementation of the Tagus Estuary Hydrodynamic Model.

این دوره به دلیل کامل بودن اطلاعات و در برگرفتن شرایط بحرانی دریاچه ارومیه از لحاظ کاهش تراز آب انتخاب شده است. لذا در تعمیم این دوره به سال های آینده باید عدم قطعیت های اقلیمی را نیز لحاظ نمود. بنابراین تمامی تحلیل ها با این فرض است که سال های آینده، مشابه سال های گذشته باشد. اگر بدون هیچ اقدامی دریاچه ارومیه به حال خود گذاشته شود تا وضعیت موجود ادامه پیدا کند، تراز دریاچه در مواقعی به کمترین مقدار ۱۲۷۰/۶۲۵ متر می رسد و در انتهای دوره (۳/۲/۲۰۲۶) نیز تراز آب دریاچه به مقدار ۱۲۷۲/۳۲۹ متر می رسد. به عبارت دیگر در سناریوی ادامه وضع موجود دریاچه تقریباً همین وضع خود را حفظ می کند و تراز اکولوژیک دریاچه حفظ نمی شود. در سناریوی بستن کامل گذرگاه شهید کلانتری و اعمال رفتاری شبیه دایک برای این نقطه، بخش شمالی دریاچه کمترین تراز (۱۲۶۸ متر) را تجربه می کند و به عبارتی این بخش از دریاچه در طی دوره مدل سازی خشکی را نیز تجربه می کند. در مقابل، در بخش جنوبی گذرگاه با گذشت زمان مدل سازی تراز آب دریاچه علیرغم کاهش نسبت به تراز آب در زمان شروع، در دوره هایی از مدل سازی تراز اکولوژیک دریاچه حفظ می شود و در کمترین حالت مقدار ۱۲۷۱/۴ متر را نیز تجربه می کند. می توان گفت که تراز آب دریاچه در بخش جنوبی نسبت به بخش شمالی و سناریوی ادامه وضع موجود شرایط بهتری را تجربه می کند.

۵- قدردانی

بدین وسیله نویسنده از مهندسان شرکت Action Modulares کشور پرتغال به خاطر ارائه مشاوره در برپایی مدل و همچنین فراهم آوردن لایسنس مدل نهایت تشکر را دارد.

حساسیت سنجی پارامترهای دینامیکی تونل های انتقال آب سد تلمبه ذخیره ای با استفاده از روش دیمتل



فصلنامه علمی تخصصی

مهندسی و مدیریت ساخت

سال اول، شماره دوم، تابستان

۱۳۹۵

نویسنده مسئول: فاطمه مددی

آدرس ایمیل:

madadi.fm@gmail.com

فاطمه مددی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

حمیدرضا وثوقی فر*

عضو هیئت علمی، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

چکیده:

هر اطمینان از پایداری و عملکرد مناسب تونل های انتقال آب که جزو شریانهای حیاتی می باشند، در تمامی شرایط به خصوص در شرایط پس از زلزله بسیار حائز اهمیت می باشد. در این مقاله وضعیت پایداری تونل های انتقال آب سد سیاه بیشه تحت ۶ زلزله حوزه دور و نزدیک با بزرگی های مختلف و با لحاظ نمودن فشار آب داخل تونل ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس به منظور حساسیت سنجی و ارزیابی تاثیر پارامترهای مختلف در طراحی تونل ها و ارزیابی تاثیرات آنها از روش دیمتل استفاده شده است. کد طراحی شده در این مقاله در محیط متلب آماده شده است و میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری هر یک از پارامترها را بخوبی نشان می دهد. نتایج این روش نشان می دهد که بترتیب ارتفاع آب داخل تونل ها (۱۵٪)، مدول الاستیسیته (۱۱٪)، زاویه ورودی زلزله (۱۰٪) و شدت زلزله (۹٪) تاثیرگذارترین پارامترها و جابجایی (۲۰٪)، کرنش (۲۰٪) و تنش (۱۸٪) از تاثیرپذیرترین پارامترها بوده اند.

کلمات کلیدی: تونل دوقلو، حساسیت سنجی، روش دیمتل، زلزله حوزه دور و نزدیک

Sensitivity analysis of dynamic parameters of pumped storage dams, water transfer tunnels using Dymtl method



V. 01 No. 02 - Summer 2016

Corresponding author:

fatemeh madadi

Email address:

madadi.fm@gmail.com

fatemeh madadi

Graduate student, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran

Hamidreza Vosughifar*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran

۱- مقدمه:

نظریه دیمتل یا به عبارتی تصمیم سازی بر اساس آزمون و ارزیابی آزمایشگاهی، برای اولین بار توسط گایوس و فونتلا در سال ۱۹۷۰ در پژوهشگاه باتل در ایالات متحده، ارائه شد. این نظریه برای تجزیه و تحلیل فاکتورهای سیستم با استفاده از ابزار ماتریس و نظریه گراف می باشد. مهم ترین مزیت این روش، بررسی و تجزیه و تحلیل رابطه بین پارامترهای تشکیل دهنده یک سیستم، با توجه به نوع رابطه بین آنها (مستقیم / غیرمستقیم) هست [۱]. در سال ۲۰۱۰ لیانگ و همکارانش با استفاده از تکنیک دیمتل به بررسی و تجزیه و تحلیل خطرات موجود در ساخت و ساز در مهندسی پی پرداخته اند [۲]. یکی دیگر از تحقیقات اخیر در این زمینه، ترکیب دو روش DEMATEL & ANP جهت ارزیابی و تصمیم گیری در راستای توسعه سیستم هست. سورمینت و همکارانش نیز با تجزیه و تحلیل روابط علت و معلولی در قابلیت های نوآوری و فن آوری و استفاده از تکنیک دیمتل به بررسی پارامترهای موثر در شرکت های مبتنی بر تکنولوژی در تایلند پرداختند. این تحقیق از نقطه نظر نحوه انجام تکنیک دیمتل حائز اهمیت هست [۳]. زنگ و همکارانش با نتایج دو مثال عددی حاصل از تحلیل به روش دیمتل و تصمیم گیری فازی را در سال ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار داده اند و نشان داده اند که تحلیل دیمتل حالت خاصی از روش تصمیم گیری فازی (FDM) بوده است [۴]. گیندا و همکارانش در تحقیقات خود به ضرورت استفاده از دیمتل فازی، به جای دیمتل اولیه در مسائل سخت تر و پیچیده تر پرداخته اند [۵]. سامانی و همکارانش با استفاده از تکنیک دیمتل فازی به بررسی خطر پذیری در عملیات ساخت و ساز در سال ۲۰۱۲ پرداخته اند [۶]. در سال ۲۰۱۳ عوامل موثر بر کیفیت رویداد نیز با استفاده از روش دیمتل توسط Yang و همکارانش انجام شد [۷]. فلاتونیتوسی و همکارانش در سال ۲۰۱۴ به بررسی کاربرد دیمتل گسترده، برای تعیین روابط علت و معلولی در روابط دوطرفه پرداخته اند [۸]. در سال ۲۰۱۴ Yang و همکارانش در زمینه تجزیه و تحلیل با استفاده از تکنیک دیمتل برای معیارهای تعامل سیستم های انتقال مواد با ANP تحقیقاتی انجام داده اند [۹]. سانگ و همکارانش با استفاده از تکنیک دیمتل به بررسی خطرات ناشی از زلزله در سیستم های ترافیکی واقع در مناطق کوهستانی پرداخته اند [۱۰]. YAN و همکارانش در سال ۲۰۱۴ با استفاده از تکنیک های مختلف بر پایه دیمتل همچون ANP و VIKOR به ارزیابی عوامل موثر در بهبود ساخت ساختمان های سبز پرداخته اند [۱۱]. هروی و همکارانش در سال ۲۰۱۴ به بررسی و پیش بینی تغییر شکل در پروژه های ساختمانی پرداخته اند [۱۲]. زو و همکارانش در سال ۲۰۱۴ به بررسی یک روش ترکیبی برای ارزیابی خطرات موجود در سازه های برق آبی پرداخته اند [۱۳]. در این تحقیق نتایج تحلیل دینامیکی تونل دو قلو انتقال آب با استفاده از تکنیک دیمتل بررسی و ارزیابی شده اند پارامترهای تاثیر گذر و تاثیر پذیر در طراحی لرزه ای تونل ها ارائه شده است.

۲- مواد و روش ها:

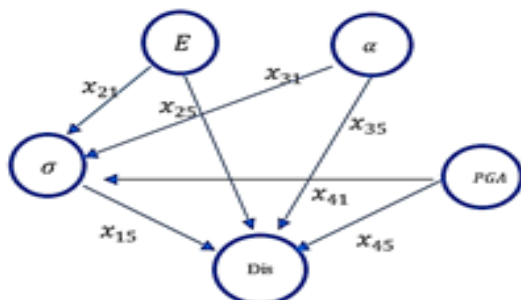
۲-۱- روش دیمتل:

جهت استفاده از تکنیک دیمتل ابتدا باید پارامترهای تاثیر گذار بر سیستم (ai) را شناسایی کنیم. پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق، شامل: مدول الاستیسیته (E)، ضخامت لاینینگ (T)، ارتفاع آب داخل تونل (H)، فاصله مرکز به مرکز دو تونل (L)، شعاع تونل (R)، ضرایب رایلی (aR.BR)، زاویه ورودی زلزله (alpha)، ماکزیمم شتاب زلزله (PGA)، جابجایی (Dis)، تنش (سیگما) و کرنش (E) گره های روی مقطع تونل ها می باشند [۱۴].

پس از مشخص شدن پارامترهای مورد نظر، تاثیر گذاری یا تاثیر پذیری هر پارامتر را نسبت به پارامترهای دیگر به صورت زوجی، بررسی و نسبت به میزان تاثیر گذاری پارامتر مورد بررسی قرار می گیرند. پارامترها به مقدار $\sum x_{ij}$ وزن دهی می شوند که $\sum x_{ij}$ مقدار تاثیر گذاری پارامتر نام بر پارامتر نام می باشد. بدین صورت که برای پارامترهای بدون اثر (کاملاً

اثر پذیر) مقدار عددی صفر، برای پارامترهایی با اثر گذاری کم مقدار عددی یک، برای پارامترهایی با اثر گذاری متوسط مقدار عددی دو، برای پارامترهایی با اثر گذاری زیاد مقدار عددی سه و برای پارامترهایی با اثر گذاری بسیار زیاد (کاملاً اثر گذار) مقدار عددی چهار برای $\sum x_{ij}$ در نظر گرفته شده است. دیاگرام رابطه بین پارامترها همانطور که در شکل (۱) به صورت خلاصه نشان داده شده است، رسم خواهد شد همچنین مطابق با رابطه (۱) تاثیر هر پارامتر بر روی خودش صفر است [۱۴].

$$\text{if: } i=j \Rightarrow x_{ij}=0 \quad (1)$$



شکل ۱. نمایشی از دیاگرام رابطه بین پارامترهای موثر در سیستم [۱۴].

با استفاده از مقادیر عددی x_{ij} ، ماتریس اولیه (ماتریس X) تشکیل خواهد شد. همانند رابطه (۲) که سطرها و ستون های ماتریس اولیه را مقادیر عددی x_{ij} تشکیل داده است.

$$X = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ a_1 & 0 & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ a_2 & x_{21} & 0 & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_n & x_{n1} & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

سپس ماتریس نرمال سازی شده (ماتریس K) با استفاده از رابطه شماره (۳) تشکیل، خواهد شد.

$$K = \frac{x}{\max_i [\sum_{j=1}^n x_{ij}]} = (K_{ij})_{n \times n}, \quad (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n) \quad (3)$$

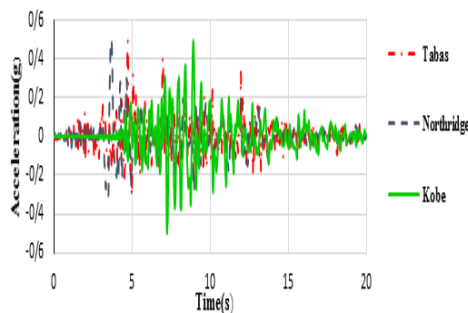
پس از تشکیل ماتریس نرمال شده، ماتریس رابطه اصلی (ماتریس G) با استفاده از رابطه شماره (۴) تشکیل خواهد شد [۱۴].

$$G = K + K^2 + \dots + K^n = (G_{ij})_{n \times n} \quad (4)$$

زمانی که n به اندازه کافی بزرگ باشد، رابطه (۵) ارائه می شود (E: ماتریس واحد):

$$G = K(K - E)^{-1} \quad (5)$$

پس از تشکیل ماتریس G ، باید مجموع سطرها و ستون های ماتریس G ، با استفاده از روابط (۶) و (۷) محاسبه شوند [۱۴]:



شکل ۲. نمودار شتابنگاشت سه زلزله طیس، کوبه و نورتریج مقیاس شده.

۲-۴- اعتبارسنجی:

در جدول شماره (۱) نتایج بدست آمده از حسگرهای واقع بر روی تونل ها با نتایج بدست آمده در حالات مختلف اندازه مش ها نشان داده شده اند. با مقایسه نتایج بدست آمده از نرم افزار المان محدود و میزان جابجایی ماکزیمم قرائت شده از حسگرهای واقع بر روی دو تونل میزان مش با اندازه ریز (fine) دقت بیشتری داشته و پاسخ های نزدیک تری با واقعیت موجود را ارائه می نماید.

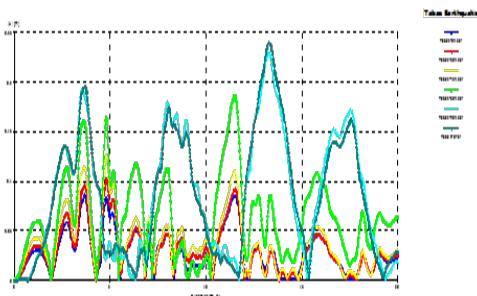
جدول ۱. نتایج حساسیت سنجی ابعاد مش مختلف

Mesh Size	تاج تونل اول	تاج تونل دوم
	Dis(cm)	Dis(cm)
very coarse	۹	۹.۵
coarse	۸.۷	۹
medium	۸	۸.۲
fine	۶.۳	۷
very fine	۶.۲	۷.۱
Real sensor	۶.۴	۶.۸

۳- نتایج:

۳-۱- نتایج تحلیل دینامیکی:

در این تحقیق با توجه به محل نصب ابزار دقیق بر روی تونل ها در ابتدا مقطعی در کیلومتر ۰.۴/۷۲۴+۱ متری مدلسازی شده است و پاسخ دینامیکی تونل ها تحت زلزله های معرفی شده و با زاویه انتشار مختلف بررسی و تحلیل شده است. در شکل های (۳) تا (۵) میزان جابجایی تاج تونل را تحت زلزله های طیس، نورتریج و کوبه نشان می دهند.



شکل ۳. جابجایی دینامیکی تاج تونل ها تحت زلزله طیس حوزه نزدیک و دور با زوایای مختلف

همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده است، بیشترین میزان جابجایی تونل ها تحت زلزله طیس مربوط به زلزله حوزه دور با زاویه

$$m_i = \sum_{j=1}^n g_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

که در رابطه (۶)، m_i ، مجموع سطرهای ماتریس G می باشد.

$$n_i = [\sum_{j=1}^n g_{ij}] \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

در رابطه (۷) n_i ، مجموع ستون های ماتریس G می باشد. برای محاسبه تاثیرگذاری پارامتر نام طبق رابطه (۸) کافی است تا مقدار درجه تاثیرگذاری به مقدار درجه تاثیر پذیری اضافه شود. به همین شکل، برای محاسبه تاثیر پذیری پارامتر نام طبق رابطه (۹) کافی است تا مقدار درجه تاثیرگذاری از مقدار درجه تاثیر پذیری کسر شود [۱۴].

$$P_i = m_i + n_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

$$q_i = m_i - n_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

در نهایت، نمودار علت و معلولی، به شکل یک نمودار دو بعدی، که محور عمودی آن، پارامترهای اثر گذار و محور افقی آن را نیز پارامترهای اثر پذیر تشکیل می دهند رسم خواهد شد. با تجزیه و تحلیل این نمودار می توان تصمیم مناسب را در رابطه با سیستم اتخاذ نمود [۱۴].

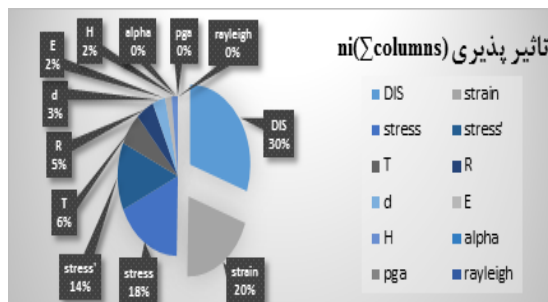
۲-۲- مشخصات فنی تونل انتقال آب و توده سنگ اطراف:

سد و نیروگاه سیاهبیشه در ۱۲۵ کیلومتری شمال تهران و ده کیلومتری شمال تونل کندوان و در مسیر رودخانه چالوس (۳۶/۱۳۰۴ شمالی، ۵۱/۱۸۱۸ شرقی) با ظرفیت تولید ۱۰۰۰ مگاوات که شامل چهار واحد ۲۵۰ مگاواتی است. این طرح دارای دو سد سنگریزه ای با رویه بتنی (CFRD) و یک نیروگاه تلمبه ذخیره ای است. سد پائین پروژه نیز با ارتفاعی معادل ۱۰۲ متر و طول تاج حدود ۳۳۲ متر، پائین تر از محل اتصال رودخانه گرم رودبار با رودخانه چالوس و بر روی رودخانه چالوس بنا شده است. حجم مفید مخزن سد پائین حدود ۳/۲۴ میلیون متر مکعب می باشد. آب مورد نیاز نیروگاه از طریق دو دهانه تونل آبرسان به فاصله مرکز به مرکز ۲۵ متر و با قابلیت گذر دهی ۱۳۰ متر مکعب آب در ثانیه، انتقال می یابد. قطر داخلی و تمام شده تونل ها به ترتیب ۲/۸۵ و ۳/۰۵ متر می باشند. طول تونل آبرسان سمت چپ از دهانه آبگیر تا مخزن ضربه گیر ۲۰۱۵ متر؛ و طول تونل آبرسان سمت راست از دهانه آبگیر تا مخزن ضربه گیر ۱۹۷۳ متر می باشد.

۲-۳- شتابنگاشت زلزله ها:

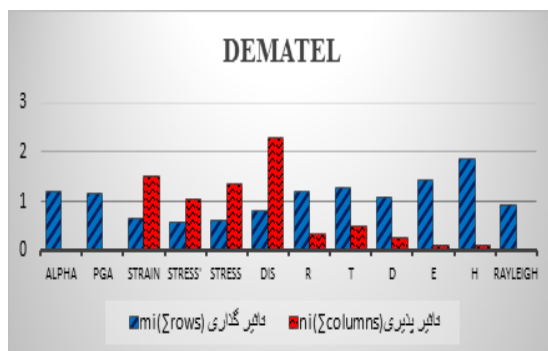
جهت بدست آوردن رکورد زلزله مناسب باید اطلاعات ژئوتکنیکی محل احداث پروژه را دانست. در این تحقیق از سه زلزله طیس، کوبه و نورتریج برای حوزه های نزدیک و دور استفاده شده است. نوع سنگ در محل تونل های سد سیاهبیشه از نوع رسوبی می باشند که با توجه به طبقه بندی آیین نامه ۲۸۰۰ از نوع کلاس II محسوب می شوند و سرعت برشی در محدوده m/s ۳۷۵-۷۵۰ است.

پس از دریافت زلزله ها از سایت، باید زلزله ها براساس محل پروژه مقیاس شوند. با توجه به این موضوع که شتاب ساختمانی در محل پروژه (MCL) برابر با $0.5g$ بوده است و ماکزیمم شتاب منطقه براساس آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله $0.35g$ می باشد در تحقیق حاضر تصمیم بر آن شد که از شتاب ساختمانی برای مقیاس کردن زلزله استفاده شود. شکل شماره (۲) نمودار شتابنگاشت زلزله های طیس، کوبه و نورتریج را پس از مقیاس کردن مطابق با شرایط منطقه نشان می دهد.



شکل ۷. میزان تاثیرپذیری هر پارامتر با استفاده از کد دیمتل

در شکل (۸) به منظور بیان روشن تر، تاثیرپذیری و تاثیرگذاری هر پارامتر در کنار هم نشان داده شده اند. که با توجه به آنچه نشان داده شده است، بترتیب ارتفاع آب داخل تونل ها (۱۵٪)، مدول الاستیسیته (۱۱٪)، زاویه ورودی زلزله (۱۰٪)، و شدت زلزله (۹٪) تاثیرگذارترین پارامترها بوده اند. همچنین جابجایی (۳۰٪)، کرنش (۲۰٪) و تنش (۱۸٪) از تاثیرپذیرترین پارامترها بوده اند.



شکل ۸. مقایسه میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری هر پارامتر با استفاده از کد دیمتل

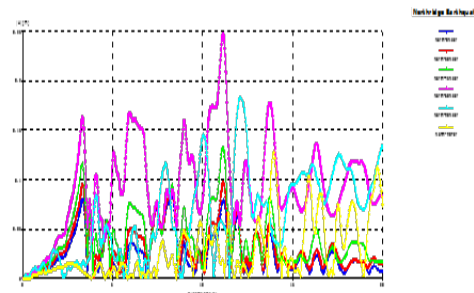
۴- بحث و نتیجه گیری:

به بیان روشنتر میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری هر کدام از پارامترهای مورد بررسی، در شکل شماره (۸) نتایج کد طراحی شده دیمتل در نموداری کنار یکدیگر نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود پارامترهایی که بیشترین تاثیرگذاری را داشته اند (مانند ارتفاع آب داخل تونل و مدول الاستیسیته) کمترین تاثیرپذیری را داشته و به عبارتی دیگر این پارامترها همواره مستقل بوده و تابع تغییر سایر پارامترها نمی باشند. به عنوان مثال تغییرات شدت زلزله ورودی بر میزان مدول الاستیسیته خاک که از طریق محیط اطراف تونل ها تعریف می شود یا سطح آب داخل تونل تاثیری نخواهد داشت. با توجه به بررسی های انجام گرفته ما بین عملکرد کد طراحی شده دیمتل میزان تاثیرگذاری و تاثیرپذیری پارامترهای بیان شده در بخش ۲ نشان می دهد که بترتیب ارتفاع آب داخل تونل ها، مدول الاستیسیته، شدت زلزله و زاویه ورودی زلزله تاثیرگذارترین پارامترها و همچنین جابجایی، کرنش و تنش از تاثیرپذیرترین پارامترها بوده اند.

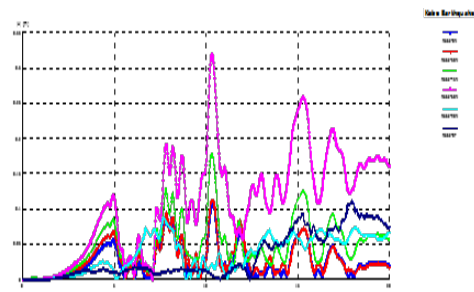
منابع:

- [۱] K.-H. Chang and C.-H. Cheng, "Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method," J Intell Manuf, pp. ۱۱۳-۱۲۹, ۲۰۱۱.
- [۲] Y.-k. LIANG و Z.-d. MA, "Construction Risk Analysis of Foundation Engineering Based on DEMATEL Method," Journal of Engineering Management, ۲۰۱۰, vol ۲.
- [۳] D. Sumrit and P. Anuntavoranich, "Using DEMATEL Method to Analyze the Causal Relations on Technological Innovation Capability Evaluation Factors in Thai Technology-Based Firms," International Transaction

صفر می باشد. مطابق با نتایج تحلیل دینامیکی بیشترین تغییر مکان تاج تونل ۲۴ cm بوده است. در شکل (۴) بیشترین تغییر مکان تاج تونل ها تحت زلزله کوبه با زاویه ورودی زلزله ۶۰ درجه ۲۵ cm بوده است. همچنین کمترین تغییر مکان ها مربوط به زلزله حوزه دور با زاویه ورودی صفر بوده است.



شکل ۴. جابجایی دینامیکی تاج تونل ها تحت زلزله نورتریج حوزه نزدیک و دور با زوایای مختلف

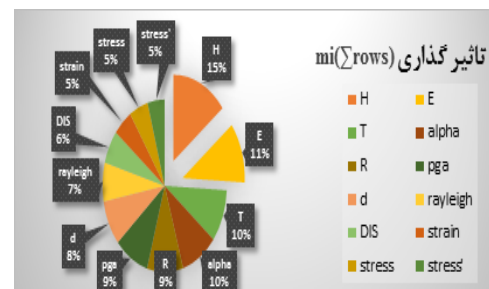


شکل ۵. جابجایی دینامیکی تاج تونل ها تحت زلزله کوبه حوزه نزدیک و دور با زوایای مختلف

در نهایت تحت زلزله کوبه همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است، بیشترین جابجایی مربوط به زاویه ۶۰ درجه در حدود ۲۲ cm بوده است. با توجه به نتایج بدست آمده بیشترین تغییر مکان مربوط به زلزله طیس با ۲۴ cm بوده است.

۳-۲- نتایج حساسیت سنجی با استفاده از روش دیمتل:

در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر پارامترهای گوناگون کدی در محیط متلب با توجه به تکنیک دیمتل طراحی و نوشته شده است. در این کد تاثیر پارامترهایی نظیر مدول الاستیسیته (E)، ضخامت لاینینگ (T)، تراز آب داخل تونل (H)، فاصله مرکز به مرکز دو تونل (L)، شعاع تونل (R)، ضرایب رابلی (BR، aR)، زاویه ورودی زلزله (alpha)، ماکزیمم شتاب زلزله (PGA)، جابجایی (Dis)، تنش (سیگما)، تنش موثر (sigma) و کرنش (E) گره های روی مقطع تونل ها مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج بدست آمده در شکل های (۶) و (۷) نشان داده شده است.



شکل ۶. میزان تاثیرگذاری هر پارامتر با استفاده از کد دیمتل

Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies., vol. ۴, no. ۲, pp. ۲۰۱۳, ۱۰۳-۸۱.

[۴] G.-H. Tzeng, W.-H. Chen, R. Yu و M.-L. Shih, "Fuzzy decision maps : a generalization of the DEMATEL methods," Soft Comput. p. ۲۰۱۰, ۱۱۵۰-۱۱۴۱, vol ۱۴.

[۵] M. Dytczak and G. Ginda, "Is explicit processing of fuzzy direct influence evaluations in DEMATEL indispensable?," Expert Systems with Applications, vol. ۴۰, no. ۱۲, pp. -۵۰۲۷ ۲۰۱۳, ۵۰۳۲.

[۶] B. A. Samani و F. Shahbodaghlou, "A Fuzzy Systematic Approach to Construction Risk Analysis," Journal of Risk Analysis and Crisis Response. No۴, pp. -۲۰۱۲, ۲۸۴-۲۷۵ vol ۲.

[۷] W.-T. Yang, W.-H. Liu, H.-H. Liu و Lanasari, "Evaluating Influential Factors in Event Quality Using DEMATEL Method," International Journal of Trade, Economics and Finance. No۲۰۱۳-۳, vol۴.

[۸] E. Falatoonitoosi, S. Ahmed and S. Sorooshian, "Expanded DEMATEL for Determining Cause and Effect Group in Bidirectional Relations," The Scientific World Journal, ۲۰۱۴.

[۹] I. Golcuk and A. Baykasoglu, "An Analysis of DEMATEL Approaches for Criteria Interaction Handling within ANP," Expert Systems With Application, ۲۰۱۵.

[۱۰] Y.-c. SONG, G.-x. YAN و Z.-n. XIONG, "Study on traffic system structure model of mountain city for earthquake disaster based on DEMATEL method," Journal of Shandong University of Technology(Natural Science Edition) ۲۰۱۴, vol۴.

[۱۱] A.-T. Yan, . M.-J. Lai and C.-Y. Lin, IEE(Computer, Consumer and Control (IS3C)), pp. ۲۰۱۴, ۷۳۲-۷۲۹.

[۱۲] G. Heravi و M. H. Charkhakan, "Predicting and Tracking Change-Formation Scenarios in Construction Projects Using the DEMATEL Technique," Journal of Management in Engineering.No۶, pp. ۲۰۱۴-۸-۱, vol۳۰.

[۱۳] J.-L. Zhou, Z.-H. Bai و Z.-Y. Sun, "A hybrid approach for safety assessment in high-risk hydropower-construction-project work systems," Safety Science. pp. ۱۷۲, ۲۰۱۴-۱۶۳, vol۶۴.

[۱۴] G. Wei, D. Qi and P. Xiaodong, "Risk Evaluation of Highway Tunnel Construction Based on DEMATEL Method," Applied Mechanics and Materials vols., Vols. -۳۶۸ ۳۷۰, pp. ۲۰۱۳, ۱۴۷۶-۱۴۷۲.