





دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده عمران

رشته عمران گرایش آب و سازه هیدرولیکی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدلسازی عددی کاربرد توده های الوار تنظیم شده در رودخانه ها

نگارنده: محمد صالح غیور حلاج

استاد راهنما:

دکتر امیر عباس عابدینی

شهریور ۹۶



شماره:

تاریخ:

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای محمد صالح غیور  
حلاج

با شماره دانشجویی: ۹۲۱۰۵۴۴ رشته: عمران گرایش: سازه  
هیدرولیکی

تحت عنوان: مدلسازی عددی کاربرد توده های الوار تنظیم شده در رودخانه ها  
که در تاریخ ۱۳۹۶/۶/۲۱ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به  
شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول ( با امتیاز ..... درجه ..... )	<input type="checkbox"/>	مردود	<input type="checkbox"/>	
نوع تحقیق:	<input checked="" type="checkbox"/>	نظری	<input type="checkbox"/>	عملی

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر امیر عباس عابدینی	۱- استاد راهنمای اول
	استادیار	دکتر عبدالاحد چوپانی	۲- نماینده تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	دکتر رامین امینی	۳- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر رمضان واقعی	۴- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر احمد احمدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تصوه: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به:

- محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم به خاطر همه تلاش های محبت آمیزی که در تمام دوران زندگی ام انجام داده اند و با مهربانی چگونه زیستن را به من آموخته اند.
- به همسر مهربانم که در تمام طول تحصیل همراه و همگام من بوده است.
- به استادان فرزانه و فرهیخته ای که در راه کسب علم و معرفت یاری ام نموده اند.
- به آنان که در راه کسب دانش راهنمایم بودند.
- پروردگارا حسن عاقبت، سلامت و سعادت را برای آنان مقدر فرما.
- خدایا توفیق خدمتی سرشار از شور و نشاط و همراه و همسو با علم و دانش و پژوهش جهت رشد و شکوفایی ایران کهنسال عنایت فرما.

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و مورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بردشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ " :از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوام که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یآوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛ از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر امیر عباس عابدینی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ از همراه صبور و با تقوا ، جناب آقای دکتر سید محمد قانع زاده ، که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛ و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ جناب آقایان دکتر امینی و واقعی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید .

## تعهد نامه

اینجانب محمد صالح غیور حلاج دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران- سازه های هیدرولیکی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدلسازی عددی کاربرد توده های الوار تنظیم شده در رودخانه ها تحت راهنمایی دکتر امیرعباس عابدینی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

\* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

## چکیده:

Engineered log jams (ELJs) مناسب ترین گزینه جهت برنامه های بازسازی و پایداری دیواره رودخانه ها هستند. با توجه به اینکه هنوز تأثیرات ELJs بر روی جریان آشفته و نیروهای وارده بر سازه (ناشی از سیال) ناشناخته است، می توان با شناخت بیشتر این موارد و الگوی جریان حول ساختارهای ELJs ملاک های طراحی را بدست آورد.

در این پژوهش از نتایج آزمایشگاهی یک کانال با بستر ثابت که مقیاس شده از نمونه اولیه رودخانه Big Sioux می باشد، استفاده شده است. دو نمونه ساختار ELJ با عنوان های ELJ-1 و ELJ-2 در نظر گرفته شده است. هر دو نوع ساختار از نوع ELJ های منحرف کننده جریان می باشند. ساختار ELJ-1 به شکل مستطیلی و ساختار ELJ-2 به شکل مثلثی است و از یک طرف به دیواره کانال متصل شده اند. همچنین جهت بسط حالات مختلف شبیه سازی حالت تک ساختار تا گروه ساختارهای دوتایی و سه تایی در یک سمت کانال (رودخانه) و در فواصل متفاوت از یکدیگر شبیه سازی شده است. نتایج بدست آمده از مدلسازی عددی نشان دهنده :

۱- تغییر سرعت آشفتگی میانگین و تنش برشی بستر در نزدیکی ساختار ELJ، در حالیکه ویژگی های جریان در بالادست و پایین دست ساختار و با خارج شدن از دامنه تأثیر بدون تغییر می ماند.

۲- نیروی درگ وارده بر ساختار بسیار بزرگتر از نیروهای عرضی بوده، ضریب درگ وارده بر حالت تک ساختار ۲,۷۲ برای ELJ-1 و ۱,۶۰ برای ELJ-2 می باشد.

۳- در حضور ساختار دیگری در بالادست، یک دامنه تأثیر و ناحیه برخاستگی تا فاصله ۳۰ برابر عمق جریان به وجود می آید، که در این ناحیه میزان نیروی درگ و ضریب درگ وارده به ساختار پایین دستی به میزان زیادی (حدود ۸۰ درصد) کاهش می یابد.

نتایج بدست آمده حاکی از عملکرد بسیار مناسب ساختارهای ELJ در کنترل فرسایش و آبستگي بستر رودخانه در نگاه کلی و محافظت از دیواره کانال در پایین دست می باشد. بنابراین می توان از ساختار ELJ به عنوان یکی از اقتصادی ترین و کارآمدترین سازه های کنترل جریان در پروژه های بازسازی و پایداری سواحل رودخانه ها بهره برد.

کلید واژه : الوارهای چوبی تنظیم شده ، سازه های کنترل جریان ، Engineered log jams ، ELJs ، مدل عددی، حفاظت از دیواره ها، نیروی درگ.



## فهرست مطالب:

فصل اول:	۱
مقدمه ای بر تحقیق	۱
۱-۱ مقدمه:	۲
۲-۱ روش تحقیق:	۴
۳-۱ ساختار پایان نامه:	۵
فصل دوم:	۷
معرفی ساختار های ELJ و مروری بر مطالعات پیشین	۷
۱-۲ تعاریف و تقسیم بندی رودخانه	۸
۱-۱-۲ مقدمه :	۸
۲-۲ الگوی رودخانه:	۸
۱-۲-۲ پایداری کانال:	۹
۲-۲-۲ هندسه و هیدرولیک رودخانه ها:	۱۰
۳-۲-۲ عوامل مؤثر بر فرسایش در رودخانه ها:	۱۱
۳-۲ معرفی روش ها و ساختار های کنترل جریان رودخانه:	۱۲
۱-۳-۲ ویژگی های سازه های کنترل جریان	۱۳
۲-۳-۲ روش های کنترل جریان رودخانه ها بر اساس عملکرد سازه ها:	۱۳
۳-۳-۲ روش های کنترل جریان رودخانه بر اساس نوع مصالح پوششی	۱۴
۴-۲ Engineered Log Jam (ELJ) (الوارهای چوبی تدقیق شده) :	۱۵
۱-۴-۲ تکنولوژی Engineered Log Jam (ELJ):	۱۵
۲-۴-۲ ارزشهای و فواید بیولوژیکی ELJ:	۲۴

۳۸	.....	۳-۴-۲ کاربرد ساختارهای ELJ:
۵۱	.....	۴-۴-۲ فرآیند طراحی ELJ ها:
۵۲	.....	۵-۴-۲ دستیابی به اصول طراحی:
۵۳	.....	۵-۲ عوامل مؤثر در طرح حفاظت و تثبیت دیواره های رودخانه:
۵۵	.....	۶-۲ مدلسازی:
۵۷	.....	۷-۲ آرایش طبیعی و ساختارهای ELJ:
۵۷	.....	۸-۲ سیر تکامل طراحی:
۶۲	.....	۹-۲ آنالیز آب شستگی:
۶۲	.....	۱۰-۲ طراحی ساختار (سازه):
۶۴	.....	۱۱-۲ سیر تکاملی طرح:
۶۴	.....	۱۲-۲ نظارت و ترتیب ساخت:
۶۶	.....	۱۳-۲ تاریخچه تحقیقات:
۷۱	.....	فصل سوم:
۷۱	.....	معادلات حاکم بر جریان و معرفی نرم افزار Flow-3D
۷۲	.....	۱-۳ مقدمه:
۷۲	.....	۱-۱-۳ معادلات بقای جرم و تغییرات آن:
۷۴	.....	۲-۱-۳ معادلات مومنتم:
۷۶	.....	۳-۱-۳ مدل های آشفتگی:
۷۶	.....	۲-۳ معرفی روش ها و نرم افزارهای حل عددی معادلات جریان:
۷۸	.....	۳-۳ مولفه های مدل سازی عددی:
۸۰	.....	۴-۳ خصوصیات مشترک روش های عددی:
۸۱	.....	۵-۳ روشهای مختلف گسسته سازی معادلات:
۸۳	.....	۶-۳ معرفی برخی نرم افزارهای تحلیل عددی جریان:
۸۷	.....	۱-۶-۳ روش حجم سیال VOF :
۹۱	.....	۲-۶-۳ روش کسر مساحت حجم مانع - (FAVOR):
۹۲	.....	۷-۳ تقریبات عددی:

۹۴	..... مدل طول اختلاط پراندتل:
۹۵	..... مدل های انتقال آشفستگی:
۹۹	..... مدل گردابه های بزرگ:
۱۰۰	..... موارد کاربرد صنعتی نرم افزار Flow-3D:
۱۰۱	..... فصل چهارم:
۱۰۱	..... مدلسازی عددی و تحلیل نتایج
۱۰۲	..... ۱-۴ شرح شبیه سازی عددی و بررسی آزمون های مختلف:
۱۰۲	..... ۱-۱-۴ بخش اول:صحت سنجی:
۱۰۳	..... ۲-۱-۴ معرفی مدل آزمایشگاهی:
۱۰۳	..... ۲-۴ تئوری مدل سازی هیدرولیکی:
۱۰۶	..... ۳-۴ بررسی حالات مختلف شبیه سازی عددی و تشریح مدل عددی :
۱۱۰	..... ۴-۴ حساسیت سنجی و کالیبراسیون مدل عددی:
۱۱۰	..... ۱-۴-۴ کالیبراسیون مدل عددی:
۱۱۰	..... ۲-۴-۴ زمان شبیه سازی:
۱۱۲	..... ۳-۴-۴ حساسیت سنجی:
۱۱۲	..... ۱-۳-۴-۴ اروش کسر مساحت - حجم مانع (FAVOR) و برخورد آن با ساختار مدل شده:
۱۱۹	..... ۴-۴-۴ شرایط مرزی:
۱۲۲	..... ۵-۴-۴ تأثیر مدل های آشفستگی:
۱۲۴	..... ۶-۴-۴ صحت سنجی :
۱۳۲	..... ۵-۴ بررسی نتایج شبیه سازی عددی:
۱۳۲	..... ۶-۴ نیروهای وارد شده به ساختار ELJ:
۱۳۳	..... ۱-۶-۴ نیروی درگ وارد شده به ساختار ELJ:
۱۳۵	..... ۱-۱-۶-۴ ضریب درگ وارد شده به ساختار ELJ:
۱۳۸	..... ۷-۴ تنش برشی:
۱۴۳	..... ۸-۴ بحث و بررسی:
۱۴۷	..... فصل پنجم:

نتیجه گیری و پیشنهادات	۱۴۷
۱-۵ نتیجه گیری:	۱۴۸
۲-۵ ارائه پیشنهادات:	۱۵۰
منابع و مأخذ:	۱۵۱
پیوست ۱:	۱۵۶
پیوست ۲:	۱۵۹

## فهرست اشکال

شکل ۱-۲: نمونه ای از طراحی ELJ های منحرف کننده جریان و مثالی از ساخت سازه جهت محافظت از دیواره.	۲۲
شکل ۲-۲: تصویر طراحی ELJ که باعث انحراف جریان شده.	۲۳
شکل ۳-۲: هم زیستی مسالمت آمیز ماهیان قزل آلا با یکدیگر در مجاورت ELJ.	۳۰
شکل ۴-۲: تجمعی از ماهیان قزل آلا جوان دقیقاً در گودابی در بالادست ELJ.	۳۱
شکل ۵-۲: مجموعه ای از لاشه های ماهیان قزل آلا و بقایای مواد آلی بر روی ساختار های ELJ در رودخانه Lower Elwha در ایالت واشنگتن.	۳۱
شکل ۶-۲: تصویر ماهی آزاد چینوک (نر و ماده) در زیر ساختار ELJ در رودخانه North Fork Stillaguamish در ایالت واشنگتن.	۳۱
شکل ۷-۲: تراکم ماهی در بخش های مختلف رودخانه lower Elwha در وجود و عدم وجود ELJ.	۳۲
شکل ۸-۲: تعداد ماهیان موجود در واحد زیستگاه در حضور و عدم حضور ELJ در رودخانه lower Elwha.	۳۳
شکل ۹-۲: باز توزیع ماهیان آزاد قزل آلا در طول بخشهای مختلف رودخانه North Fork Stillaguamish در محدوده ای که ELJ ساخته شده است.	۳۳
شکل ۱۰-۲: توده های جلبکها در زیستگاه های دارای ساختار های ELJ مقایسه شده است با دیگر انواع زیستگاه ها.	۳۴
شکل ۱۱-۲: تراکم بی مهرگان در زیستگاه های دارای ساختار های ELJ مقایسه شده است با دیگر انواع زیستگاه ها.	۳۴

- شکل ۲-۱۲: نتایج بررسی های غواصی شبانه روزی در رودخانه North Fork Stillaguamish به جهت تعیین تمایز های قابل تشخیص جانورانی در انواع مختلف زیستگاه ها. ۳۵.....
- شکل ۲-۱۳: نمونه ای از چند شاخه شدن در رودخانه Taiya . ۳۸.....
- شکل ۲-۱۴: نمونه ای از پوشش پیچیده و شرایط بستر و تنوع هیدرولیکی ایجاد شده توسط توده قطعات چوبی. ۴۰.....
- شکل ۲-۱۵: ELJ های تثبیت کننده رسوب در رودخانه lower Elwha. ۴۱.....
- شکل ۲-۱۶: مقایسه رودخانه قبل و بعد از ساخت ELJ . ۴۲.....
- شکل ۲-۱۷: نمونه ای از ELJ های محافظت کننده دیواره ها و سواحل در طول رودخانه Cispus... ۴۳.....
- شکل ۲-۱۸: نمونه ای از ELJ تثبیت کننده طبیعی رسوبات در رودخانه Cispus. ۴۵.....
- شکل ۲-۱۹: تغییرات ناشی از پاسخ کانال به ساخت ساختار ELJ . ۴۶.....
- شکل ۲-۲۰: کانال های کف سنگی. ۴۸.....
- شکل ۲-۲۱: عملکرد کانال های کف سنگی با ساختارهای چوبی. ۴۸.....
- شکل ۲-۲۲: نمونه ای از ساختارهای ELJ طبیعی که کنترل کننده شیب جریان و افزایش دهنده کمیت و کیفیت زیستگاهها. ۴۹.....
- شکل ۲-۲۳: نمونه ای از نهرهای ساده شده بر اثر هدایت جریان. ۵۰.....
- شکل ۲-۲۴: فرآیند تدریجی طراحی ساختارهای ELJ. ۵۲.....
- شکل ۲-۲۵: نمونه ای از خروجی مدلسازی هیدرودینامیکی دو بعدی. ۵۹.....
- شکل ۲-۲۶: الوارهای چوبی طبیعی کنترل کننده شیب و یا دستکاری کننده جریان. ۶۰.....
- شکل ۲-۲۷: فرآیند اصلی طراحی ساختار های ELJ. ۶۱.....
- شکل ۲-۲۸: بخش های ساخت یکی از چهار سری ساختار ELJ انحراف جریان در رودخانه Cispus ۶۵.....
- شکل ۳-۱: نمونه ای از مقادیر تابع VOF در نزدیکی سطح آزاد. ۸۷.....
- شکل ۳-۲: سه مرحله روش تعیین سطح آزاد نیمه لاگرانژی. ۹۱.....
- شکل ۴-۱: دیاگرام شمانیک فلوم آزمایشگاهی (گالیسدوفر و همکاران ، ۲۰۱۳).. ۱۰۵.....
- شکل ۴-۲: در عکس فوق نمایی از نزدیک از اتصال ساختار Elj به لودسل. ۱۰۵.....
- شکل ۴-۳: ساختار Elj-1. ۱۰۶.....

- شکل ۴-۴: ساختار Elj-2 ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۵: پلان شماتیک پیشنهادی جهت نصب ساختار Elj در رودخانه Big Sioux ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۶: نمودار تغییرات سرعت متوسط در راستای محور X در برابر زمان در پایین دست ساختار ELJ-1 جهت تعیین زمان مناسب جهت شبیه سازی ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۷: تغییر شکل موانع به دلیل تقاطع چندگانه در شبکه بندی flow-3d ..... ۱۱۳
- شکل ۴-۸: تعداد مش و خروجی Favor مدل عددی ..... ۱۱۵
- شکل ۴-۹: نمودار آنالیز حساسیت مش جهت دقت محاسبات نرم افزار ..... ۱۱۶
- شکل ۴-۱۰: الگوی مش بندی محاسباتی یکنواخت و غیر یکنواخت ..... ۱۱۸
- شکل ۴-۱۱: نمایش جهات محورهای مختصات در مدل عددی و آزمایشگاهی ..... ۱۱۸
- شکل ۴-۱۲: شرایط مرزی اعمال شده بر مدل عددی ..... ۱۱۹
- شکل ۴-۱۳: دیاگرام سطحی سرعت در راستای محور X با شرط مرزی VFR به همراه محدودیت ارتفاع در حضور ساختار ELJ-1 در ۹,۵ cm بالادست ساختار ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۱۴: دیاگرام سطحی سرعت در راستای محور X با شرط مرزی VFR بدون در نظر گرفتن محدودیت ارتفاع در حضور ساختار ELJ-1 در ۹,۵ cm بالادست ساختار ..... ۱۱۴
- شکل ۴-۱۵: خروجی آزمایشگاهی دیاگرام سطحی سرعت در راستای محور X در حضور ساختار ELJ-1 در ۹,۵ cm بالادست ساختار ..... ۱۲۱
- شکل های ۴-۱۶ و ۴-۱۷: مقایسه تاثیر مدل آشفتگی در مدل سازی عددی در حالت ۹,۵ سانتیمتر بالادست سازه Elj1 ..... ۱۲۲
- شکل های ۴-۱۸ و ۴-۱۹: نمودار سرعت جریان در راستای محور X در کانال بدون ساختار Elj در مدل عددی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در کانال بدون ساختار Elj در مدل آزمایشگاهی ..... ۱۲۶
- شکل های ۴-۲۰، ۴-۲۱، ۴-۲۲، ۴-۲۳: نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm بالادست ساختار در کانال دارای ساختار Elj1 در مدل عددی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm پایین دست ساختار در کانال دارای ساختار Elj1 در مدل عددی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm بالادست ساختار در کانال دارای ساختار Elj1 در مدل آزمایشگاهی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm پایین دست ساختار در کانال دارای ساختار Elj1 در مدل آزمایشگاهی ..... ۱۲۹

شکل های ۴-۲۴، ۴-۲۵، ۴-۲۶، ۴-۲۷: نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm بالادست ساختار در کانال دارای ساختار Elj2 در مدل عددی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm پایین دست ساختار در کانال دارای ساختار Elj2 در مدل عددی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm بالادست ساختار در کانال دارای ساختار Elj2 در مدل آزمایشگاهی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm پایین دست ساختار در کانال دارای ساختار Elj2 در مدل آزمایشگاهی، جداول مقایسه سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm بالادست و پایین دست ساختار در کانال دارای ساختار Elj2 در مدل عددی و آزمایشگاهی در ۲۷ نقطه انتخابی در مقطع عرضی کانال..... ۱۳۱

شکل ۴-۲۸: نمودار مقادیر نیروی درگ وارد بر ساختار ELJ در حالات مختلف مدلسازی عددی... ۱۳۴

شکل ۴-۲۹: نمودار مقادیر ضریب درگ وارد بر ساختار ELJ در حالات مختلف مدلسازی عددی... ۱۳۶

شکل ۴-۳۰: مفهوم سرعت گردابی به صورت شماتیک در شکل فوق ارائه شده است. .... ۱۳۸

شکل ۴-۳۱: نمودار توزیع عرضی تنش برشی بستر برای حالت بدون ساختار (مرجع). .... ۱۴۰

شکل ۴-۳۲: نمودار توزیع عرضی تنش برشی بستر در بالادست و پایین دست ساختار ELJ-1 (Config 2) ..... ۱۴۰

شکل ۴-۳۳: نمودار توزیع عرضی تنش برشی بستر در بالادست و پایین دست ساختار ELJ-2 (Config 9) ..... ۱۴۱

### فهرست جداول:

جدول ۴-۱: خلاصه نسبت های مقیاس و ابعاد المان های ساختار Elj نمونه اولیه وبستر ثابت..... ۱۰۷

جدول ۴-۲: خلاصه ابعاد نمونه اولیه و مدل بستر ثابت و پارامترهای هیدرولیکی. .... ۱۰۹

جدول ۴-۳: جدول مقایسه سرعت جریان در راستای محور X در کانال بدون ساختار Elj در مدل عددی و آزمایشگاهی در ۲۴ نقطه انتخابی در مقطع عرضی کانال. .... ۱۲۶

جدول ۴-۴ و ۴-۵: جداول مقایسه سرعت جریان در راستای محور X در بالادست و پایین دست کانال دارای ساختار Elj1 در مدل عددی و آزمایشگاهی در ۲۴ نقطه انتخابی در مقطع عرضی کانال. .... ۱۲۹

جدول ۴-۶: حالات مختلف مدلسازی عددی. .... ۱۳۲

جدول ۴-۷: مقادیر نیروی درگ وارد بر ساختار ELJ در حالات مختلف مدلسازی عددی. .... ۱۳۳

جدول ۴-۸: مقادیر ضریب درگ وارد بر ساختار ELJ در حالات مختلف مدلسازی عددی. .... ۱۳۶





## فصل اول:

### مقدمه ای بر تحقیق

## ۱-۱ مقدمه:

نیاز رو به پیشرفت به مواد غذایی و محدودیت منابع، کشور های واقع در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا را به سمت استفاده بهتر از منابع آب و خاک سوق داده است. با توجه به اینکه بهره وری بسیاری از شبکه های رودخانه ای در سطح مطلوب نمی باشد لذا متخصصین امر در پی چاره جویی برای حل مسائل مربوط به شبکه های رودخانه ای می باشند، که ناشی از مشکلات فنی و مدیریتی بوده و نتیجه آن کاهش عملکرد این شبکه ها می باشد.

در طرح های کنترل رودخانه، تعیین دامنه، ترتیب و ترکیب مطالعات پایه و همچنین تبیین مبانی طراحی مستلزم توجه فراگیر به مجموعه عوامل رودخانه ای و ویژگی های رفتاری خاک و به خصوص ارتباط و اثرات متقابل آنها با یکدیگر بوده و پیش بینی عکس العمل رودخانه در قبال اقدامات کنترلی را طلب می کند. در این ارتباط نقش رفتار هیدرولیکی رودخانه از دیدگاه تبیین مبانی طراحی با توجه به تاثیر مستقیم آن در فعل و انفعالات مرفولوژیک و ساختاری سازه ای و بالاخص پیش بینی عملکرد طرح های کنترل فرسایش از اهمیت خاصی برخوردار است. مفاهیمی چون دبی غالب، سیل طراحی، عرض تعادلی، ظرفیت انتقال وغیره از جمله مبانی طراحی مهم و زیر بنایی درحیطه هیدرولیک جریان تلقی می شوند که عملکرد مطلوب، استحکام و پایداری سیستم های کنترل فرسایش عموماً در گرو بهره گیری منطقی و کارشناسانه از فرایندهای هیدرولیکی و چگونگی ترکیب و تلفیق آنها با عوامل

زمین ساختی، ژئوتکنیکی، مرفولوژیکی و سایر پارامترهای تاثیر گذار در طرح سیستم های کنترل جریان است. (بهادری، 1374)

با پیشرفت و توسعه کامپیوترها و افزایش سرعت آنها، روز به روز بر کاربرد آنها در زمینه های مختلف مهندسی افزوده می شود. ظهور رایانه ها در عرصه دانش و علوم، خصوصاً مهندسی باعث گردید ابزاری کارآمد با ظرفیت و سرعت محاسباتی بالا در اختیار مهندسين قرار داده شود، به طوری که پدیده های پیچیده ای که حل آنها با روش های دستی در گذشته غیر ممکن بود به روشهای عددی تحلیل گردند. در این راستا به دلیل پیچیده بودن پدیده های طبیعی و غیر خطی بودن معادلات حاکم، محققان مختلف سعی بر این نمودند که با ساده سازی و ابداع روش های مختلف، آن معادلات را برای شرایط مورد نظر تحلیل نمایند. امروزه با توجه به پیشرفتهای فوق و همچنین پیشرفت تجهیزات آزمایشگاهی توجه و علاقه محققین به گرایش مهندسی رودخانه و تهدیدات زیست محیطی و بیولوژیکی آن با توجه به جوان بودن آن رو به افزایش است.

این توجه در ابعاد مختلف آموزشی، پژوهشی و طراحی قابل مشاهده است. بخش اصلی و هسته مرکزی این مطالعات مربوط به انجام مطالعات هیدرولیکی و هیدرولوژی رودخانه است. این مطالعات معمولاً با استفاده از مدل های عددی، آزمایشگاهی و میدانی صورت می گیرد، که با توجه به جمله موارد ذکر شده و در جهت کاهش هزینه ها و برر سی جامع تر مدل در شرایط مختلف و سناریوهای متفاوت به نظر می رسد مدل سازی عددی مناسب ترین راه می باشد.

در تحقیق پیش رو از مدل عددی Flow-3d تحت شرایط RNG استفاده شده است. این مدل چند جانبه و مدل تلاطمی با شرایط پیچیده جریان در شبیه سازی دو بعدی و سه بعدی است. روش حل معادلات در این مدل براساس روش حجم محدود بوده که معادلات جریان را حل عددی می نماید.

## ۱-۲ روش تحقیق:

در پژوهش حاضر به بررسی اثرات تکنولوژی ساختارهای ELJ و مزایا و تاثیرات زیست محیطی، هیدرولیکی و هیدرولوژیکی جهت تعیین ملاک هایی برای طراحی و کاربرد این ساختار ها در جریان پرداخته شده است.

از جمله اهداف این پژوهش شناخت ساختار کنترلی ELJ و تاثیرات و اندرکنش متقابل سازه و جریان با یکدیگر به منظور کمینه کردن مشکلات ناشی، بهبود عملکرد شبکه های رودخانه ای، افزایش روند بازسازی رودخانه ها چه از لحاظ ژئومورفیکی و چه از لحاظ هیدرولیکی، احیای زیست محیطی رودخانه ها و مقابله با پدیده آبشستگی مخصوصاً برای رودخانه های خروشان موجود در جنوب کشور (از جمله کارون) می باشد.

بدین منظور از نتایج حاصله از مقاله آزمایشگاهی گالیسدوفر و همکارانش که در سال ۲۰۱۳ تحت عنوان *Physical-scale model designs for engineered log jams in rivers* منتشر کردند، استفاده شده است. نتایج مطالعات آزمایشگاهی این مدل فیزیکی مورد استفاده قرار گرفت تا صحت سنجی صورت گیرد و پس از بررسی آزمونهای مختلف جهت صحت سنجی مدل، در نهایت با انتخاب بهترین و کالیبره ترین مدل عددی، هندسه کانال و ساختار کنترلی جریان شبیه سازی و با انتخاب مش بندی مناسب شبیه سازی روی آن صورت پذیرفت.

از نتایج این پژوهش می توان ضمن گذر از روشهای سنتی به کارگیری ساختارهای کنترل جریان به روشهای مدرن و شبه طبیعی و سازگارتر با محیط زیست با استفاده از برخی ملاک های طراحی مذکور و با توجه به پیشنهادات و نکات ارائه شده ساختاری اقتصادی و کارآمد را جهت کنترل جریان به کاربرد.

## ۳-۱ ساختار پایان نامه:

مطالعه حاضر در ۵ فصل گردآوری شده است که پس از مقدمه حاضر، در فصل دوم به تئوری جریان در کانالها، انواع مختلف ساختارهای کنترلی جریان و معرفی آنها (پیوست)، تکنولوژی ساختارهای ELJ و مزایا و تاثیرات زیست محیطی، هیدرولیکی و هیدرولوژیکی بر جریان پرداخته شده است و در ادامه به اشاره ای بر تحقیقات گذشته در زمینه کاربرد الوارهای چوبی تدقیق شده در جریان پرداخته ایم.

فصل سوم به بیان معادلات حاکم بر جریان (در اطراف ساختارهای کنترلی) می پردازد. سپس روش های عددی مختلف که برای حل معادلات جریان مورد استفاده قرار می گیرد به اختصار معرفی و مورد بررسی قرار خواهند گرفت. پس از بررسی و تعیین نرم افزار های موجود در حیطه مربوطه با انتخاب نرم افزار مورد استفاده در پایان نامه پیش رو (Flow-3D) خصوصیات و روشهای موجود در این نرم افزار بیان گردید.

در فصل چهارم، نرم افزار Flow-3D با کمک نتایج حاصله از مقاله آزمایشگاهی گالیسدوفر و همکارانش، صحت سنجی شد و پس از بررسی آزمونهای مختلف صحت سنجی، مدل عددی جهت شبیه سازی حالات مختلف ساختار های ELJ (میزان نفوذ، شکل، زاویه قرارگیری و تعداد ساختارها و فاصله ساختارها) در جریان به عنوان ساختار کنترل کننده جریان مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

در فصل آخر نیز نتایج حاصل از شبیه سازی ها به صورت مجتمع ارائه گردید و پیشنهادات بیان شد. قابل ذکر است با توجه به ارائه پیشنهاد از سوی هیئت علمی دانشگاه صنعتی شاهرود و با توجه به عدم وجود برگردان فارسی برای عنوان Engineered Log Jams ، از عنوان الوارهای چوبی تنظیم شده (تدقیق شده) و یا به صورت اختصار از ELJ در متن پایان نامه استفاده شده است.



## فصل دوم:

معرفی ساختارهای ELJ و مروری بر مطالعات

پیشین

## ۱-۲ تعاریف و تقسیم بندی رودخانه

### ۱-۱-۲ مقدمه :

مهندسی رودخانه علمی است که هدف آن استفاده حداکثر از رودخانه ها برای رفع نیازهای اقتصادی و ارتباطی و به حداقل رساندن خطرات و زیان های ناشی از آن ها می باشد. علی رغم سابقه طولانی استفاده انسان از رودخانه، مهندسی رودخانه به صورت کلاسیک سابقه چندانی نداشته و نسبت به سایر زمینه های علمی؛ ناشناخته و جوان تر است و به همین دلیل انجام مطالعات بیشتر در این زمینه، لازم به نظر می رسد.

### ۲-۲ الگوی رودخانه:

مطالعه الگو یا شکل پلان یک رودخانه برای حفاظت آن از اثرات جانبی دخالت بشر در رودخانه یا حریم آن، از قبیل عملیات پل سازی، ضروری می باشد. سه گروه الگو برای رودخانه وجود دارد: مستقیم، شریانی و پیچانرودی.

رودخانه های مستقیم: رودخانه هایی را گویند که طول آن ها حدود ده برابر عرض آبراهه مستقیم باشند. رودخانه ای که مستقیم است معمولاً از لحاظ استاتیکی نیز پایدار می باشد.

(Farraday, R. V. Charlton, F. G. 1983)

رودخانه های شریانی: این رودخانه ها معمولاً ناپایدار بوده و می توانند مقادیر زیادی از رسوب را حمل کنند که در نتیجه در دامنه های طولی کوتاه ته نشینی رسوب و با افزایش شیب انتقال رسوب بیشتر



را می دهد. تل های ته نشین شده اغلب بزرگتر شده و جریان را منحرف می کنند و باعث تغییر محل موقعیت آبراهه می شوند. رودخانه های شریانی سواحل خود را فرسایش می دهند، آبشستگی بستر و شکل هندسی آنها متناسب با دبی، شیب دره و رسوب ورودی از بالادست می باشد. این رودخانه ها دارای دشت سیلابی در کناره آبراهه هستند و گاهی جریان از سواحل و کناره ها سرریز کرده و در عرض دشت سیلابی پخش می شود.

رودخانه های پیچانرودی: این رودخانه ها بسیار متداولند و به ندرت دارای الگوی با قاعده سینوسی هستند. این رودخانه ها معمولاً از لحاظ دینامیکی پایدار هستند. نوسانات مقطع آنها تقریباً حول یک موقعیت متوسط از الگوی جریان حرکت کرده و به پایین دست پیشرفت می کند. رودخانه های پیچانرودی رفتاری مشابه دارند، اما توپوگرافی نقش بزرگتری در آبراهه و هندسه آن ایفا می کند. چنین رودخانه هایی معمولاً باریک تر و عمیق تر و از نوع شریانی هستند و به ندرت از کناره ها سرریز می شوند. عرض کمربند پیچانرود معمولاً از عرض کانال رودخانه شریانی بزرگتر است. رسوب همراه جریان در هر دو نوع رودخانه بصورت بار معلق و بار بستر انتقال می یابد.

بارمعلق، مصالح ریزدانه موجود در آب است که بیشتر آنها مصالح فرسایش یافته از حوضه آبریز هستند. این مواد همراه با جریان های روگذر به رودخانه وارد می شوند. دانه های درشت تر بار معلق به طور وسیعی از بستر رودخانه مشتق شده و هنگامی که سرعت جریان کاهش می یابد و ظرفیت برای حمل رسوب نقصان پیدا می کند، ته نشین می شوند. بار بستر، در مقایسه با بار معلق، مواد درشت دانه تری هستند که در طول بستر حرکت داده می شوند و تقریباً به طور مداوم با بستر برخورد می کند.

## ۲-۱-۲ پایداری کانال:

رودخانه ها بر حسب پایداری به دو دسته کلی پایدار و ناپایدار طبقه بندی می شوند. رودخانه های پایدار خود شامل دو نوع رودخانه پایدار استاتیکی و دینامیکی هستند:

رودخانه های پایدار استاتیکی: این مرحله در رودخانه هنگامی است که نیروی جریان آب برای آبشستگی بستر، فرسایش کناری یا حتی انتقال مقادیر ویژه رسوب در بار معلق یا بار بستر کافی نیست. مرزهای کانال رودخانه ساکن و بی حرکت است و مانند مرزهای صلب در طی سال های متمادی در آبراهه می باشد. هر چند تداخل الگوی جریان، ممکن است باعث تغییرات موضعی در هندسه آبراهه شود.

رودخانه های پایدار دینامیکی: این رودخانه ها معمولاً به طور مستمر فعال هستند، آب شستگی و ته نشینی مواد در بستر، فرسایش و ته نشینی مواد در کناره ها و انتقال مقادیر ویژه رسوب از آن جمله هستند. هر چند این ها تغییر کوتاه مدتی در شکل آبراهه در حین تغییرات پیشرونده می دهد، اما معمولاً در محدوده شرایط متوسط تغییر می کند. جابجایی الگوی کانال باعث فرسایش پیشرونده ای مانند الگوی حرکت به سمت پایین است. تزاخم با الگوی جریان در چنین رودخانه هایی باعث تغییرات موضعی هندسه کانال می شود.

رودخانه های ناپایدار: این رودخانه ها معمولاً مقادیر بسیار زیادی از رسوب را انتقال می دهند، و دارای آبشستگی مداوم و رسوب گذاری مواد و فرسایش کناری هستند. تل های رسوب گذاری شده جریان را منحرف می کند، باعث می شود کانال ها، شکل، موقعیت و الگوی پیشرونده خود را تغییر دهند. رفتار چنین رودخانه هایی معمولاً غیر قابل پیش بینی است و کنترل رودخانه مشکل است.

راه کارهای چاره ساز مشمول برنامه ریزی مدیریت حوضه، کنترل پوشش و فرسایش حوضه، ساخت تله های رسوبی در نواحی بالاتر رودخانه و کنترل دخالت های بشری می باشد.

## ۲-۲-۲ هندسه و هیدرولیک رودخانه ها:

هندسه یک رودخانه شامل عرض رودخانه، عمق، شکل سطح مقطع، شیب و راستای آن است. این موارد بستگی به چند عامل دبی، مشخصات بستر و مصالح کناری، مقدار رسوب حمل شده توسط رودخانه و توانایی انتقال رسوب موجود از منابع بالادست دارد. روش رضایت بخشی از محاسبه تغییرات هندسه

رودخانه وجود ندارد که بتواند برای تمامی رودخانه ها قابل استفاده باشد. آنچه موجود است چند روش تجربی و نیمه تجربی تحلیلی می باشد. هر کدام از آن ها محدود به رودخانه با مشخصه های منحصر به فرد خود است.

## ۲-۲-۳ عوامل مؤثر بر فرسایش در رودخانه ها:

عوامل مؤثر در فرسایش و تخریب دیواره های حفاظت نشده از سه دسته عوامل (Bramley and Hemphill 1989) شامل فرآیندهای ریخت شناسی، دخالت بشر و فرسایش موضعی ناشی می شود. منظور از فرآیندهای ریخت شناسی، مجموعه عواملی است که در رسیدن رودخانه به یک تعادل پویا دخالت دارند و عمدتاً شامل فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و هیدرولیکی است که در تقابل با ویژگی های زمین شناسی، ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی مؤثر می باشند. به طور کلی عوامل مؤثر بر فرسایش در رودخانه را می توان به سه گروه عمده زیر تقسیم بندی کرد:

الف) عوامل فیزیکی: این عوامل عبارتند از شرایط آب و هوایی منطقه مورد نظر، ویژگی های هندسی و مصالح دیواره ها و بستر و دخالت انسان با ایجاد سازه در کناره ها و بستر رودخانه نظیر احداث پل و آبشکن.

ب) عوامل شیمیایی: ویژگی های شیمیایی خاک به خصوص در مورد خاک های ریزدانه رسی و همچنین تأثیر کیفیت شیمیایی آب از نظر قدرت اسیدیته آن در حل مواد چسبنده ذرات می باشند. به علت کندی سرعت زهکشی، اثر این عوامل در مقایسه با عوامل دیگر به خصوص در مورد خاک هایی که قابلیت زهکشی مناسبی دارند ناچیز می باشد.

ج) عوامل هیدرولیکی: جریان آب در مقطع اصلی بستر رودخانه از عوامل اصلی فرسایش و تخریب دیواره ها به شمار می آید که شدت تأثیر این عوامل بستگی به دبی جریان، سرعت، عمق، شیب، غلظت بار رسوبی کف و بار معلق، دانسیته و گرانروی آب و ویژگی های مواد بستر دارد. در صورتی که تنش برشی مؤثر بر جداره و بستر از تنش برشی بحرانی آن بیشتر باشد، اولاً جریان اقدام به شستن و حمل

مواد تشکیل دهنده جداره نموده و ثانیاً با شسته شدن بستر، ارتفاع و شیب دیواره افزایش یافته و دیواره در اثر نیروهای ثقلی تخریب شده و ریزش می نماید.

## ۲-۳ معرفی روش ها و ساختار های کنترل جریان رودخانه:

اهداف اصلی در سازه های کنترل جریان:

• کاهش نیروی هیدرودینامیکی وارد به بستر و سواحل جریان

• کنترل راستا، سرعت ویا عمق جریان می باشند.

انواع سازه های کنترل جریان عبارتند از:

- Hard point (نقاط سخت)
- Spure (آبشکن، دیوارک عمود بر ساحل)
- Guide Banks (دیوار با خاکریزهای ساحلی)
- Retards (آبشکن آبگذر، آبشکن آرام کننده)
- Dikes (Dykes) (سد کوتاه)
- Jetties (اسکله)
- Fences (دیوار ، پرچین)
- Vanes (Hooks, Deflectors, wane dikes) (پره)
- Bend way weirs (مسیر زانویی دارای بند آب یا دوریز )
- Drop structures (شیب شکن)
- Engineered log Jam (الوار چوبی تدقیق شده)

که تمرکز پروژه ی حاضر بر روی مورد آخر می باشد.

در پیوست یک به طور مختصر به بیان خصوصیات پرکاربردترین سازه های کنترل جریان اشاره می گردد.

## ۲-۳-۱ ویژگی های سازه های کنترل جریان

سازه های کنترل جریان بر حسب نوع مصالح دارای ویژگی های فیزیکی و مکانیکی زیر هستند:

\*انعطاف پذیر یا صلب                      \*آبگذر یا غیرقابل نفوذ                      \*موقت یا دائمی

به طور کلی سازه های انعطاف پذیر عملکرد مناسب تری نسبت به سازه های صلب دارند. این سازه ها به علت ویژگی شکل پذیرشان قدرت تحمل تغییر شکل های بیشتری را نسبت به سازه های صلب دارند. این تغییر شکل ها می توانند ناشی از نشست ناهمگون پی سازه در اثر پدیده زیرشویی و یا آب شستگی موضعی باشند. همچنین سازه های انعطاف پذیر در صورت تخریب جزئی قابلیت ترمیم و بازسازی مجدد دارند. نفوذپذیری سازه های آبگذر به آنها در مقایسه با سازه های غیر قابل نفوذ برتری ویژه ای از نظر هیدرولیکی می دهد چرا که این سازه با عبور آب از داخل خود سبب کاهش فشار جریان در وجه بالادست خود شده و همچنین با کاهش سرعت جریان موجب افزایش ته نشینی رسوبات شده و عملاً سبب تثبیت بیولوژیکی بستر و دیواره ها می شود.

## ۲-۳-۲ روش های کنترل جریان رودخانه ها بر اساس عملکرد سازه ها:

روش های حفاظت سواحل از دیدگاه عملکرد سازه ها به دو گروه کلی ذیل تقسیم بندی می شوند.

الف- روش های حفاظت مستقیم: در این روشها با احداث سازه هایی که مستقیماً روی ساحل یا بستر رودخانه اجرا می شوند از فرسایش و آبشستگی دیواره ها و بستر جلوگیری به عمل می آید. استفاده از روکش ها عمومی ترین شکل این گونه روش ها است و کارایی آنها بستگی مستقیم به مقاومت مصالح آن روی شیب دیواره دارد، استفاده از سازه های طولی نظیر دیواره های ساحلی، سنگ ریزی و غیره.

ب- روش های غیرمستقیم: در این روش با ساخت سازه هایی باعث انحراف خطوط جریان از دیواره های فرسایش پذیر شده و قابلیت رسوب گذاری جریان افزایش می یابد، مانند استفاده از سازه های عرضی نظیر آب شکن و غیره.

## ۲-۳-۳ روش های کنترل جریان رودخانه بر اساس نوع مصالح پوششی

تقسیم بندی زیر بر اساس نوع مصالح پوششی صورت پذیرفته است:

روش ساختمانی: در این روش با استفاده از مصالح ساختمانی و بنایی، انواع سازه های مقاوم نظیر روکشها، سازه های هدایت (نظیر آبشکن ها) و یا سازه های تثبیت بستر، ساخته و اجرا می گردد. این سازه ها عمدتاً نیاز به مصالح و امکانات فنی نسبتاً زیادی دارند و بجز در شرایطی که عوامل فرسایش دهنده دیواره ها و بستر شدید باشند پیشنهاد نمی شوند.

روش طبیعی: در این روش با استفاده از امکانات طبیعی نظیر پوشش گیاهی مناسب اقدام به حفاظت سطح دیواره ها و تثبیت طبیعی مسیر جریان می شود. این روش اگرچه از نظر اقتصادی برتری ویژه ای نسبت به روش های ساختمانی دارد ولی معمولاً عمر مفید کوتاه آنها مستلزم حفاظت و نگهداری پیوسته است.

روش طبیعی- ساختمانی: این روش تلفیقی از دو روش بالا است که به علت قابلیت تطبیق آن با شرایط مختلف، امروزه اقتصادی تر و در عین حال مؤثرتر از روش های دیگر است.

### انتخاب نهایی روشها و سازه های حفاظتی به عوامل زیر بستگی دارد:

- بررسی پایداری رودخانه در بازه مورد نظر و انتخاب راستا و هندسه هیدرولیکی مناسب.
- تشخیص نوع رودخانه و خصوصیات هیدرولیکی رژیم دبی و رسوب آن.
- بررسی عوامل و ساز و کار تخریب و گسیختگی دیواره ها.
- مصالح موجود در منطقه، امکانات فنی و تخصصی و کارگاهی.

ارزیابی اقتصادی گزینه های مختلف و انتخاب روش مناسب، تابعی از تجربه و قضاوت مهندسی خواهد بود. شرایط هیدرولیکی و روند فرسایشی از نقطه ای به نقطه دیگر متغیر است و این به دلیل اختلاف در مشخصات متفاوت رودخانه ها شامل شرایط جریان، مواد بستر، کرانه و هندسه آبراهه ها می باشد.

حتی در شرایط یکسان هیدرولیکی و فرسایشی، نیز روش منفردی که به طور یکسان قابل کاربرد باشد وجود ندارد. به عنوان مثال، محدودیت های اقتصادی و حقوقی شامل وجود مواد ساختمانی و ماشین آلات می تواند در انتخاب تکنیک مناسب، تأثیر داشته باشد. پارامترهای مختلف درگیر این مسئله و پیچیدگی جریان، مهندسین را به استفاده از تکنیک های تجربی و تئوریک در طراحی اینگونه تأسیسات حفاظتی سوق داده است.

## ۲-۴ (ELJ) Engineered Log Jam (الوارهای چوبی تدقیق شده) :

در ادامه به طور مفصل در خصوص این نوع سازه کنترل جریان که موضوع اصلی پروژه پیش روست بحث می گردد.

### ۲-۴-۱ تکنولوژی (ELJ) Engineered Log Jam :

اصطلاح ELJ به گروه خاصی از سازه های کنترل جریان اطلاق می شود که عامل موثری در باز سازی و بازگردانی زیستگاه های آبریان، محافظت رودخانه ها در مقابل مشکلات مهندسی همچون فرسایش ساحل و بستر رودخانه، جاری شدن سیل، آسیب پذیری پلها، خوردگی و ترک خوردگی کانالها هستند. تکنولوژی ELJ بر پایه این فرضیه که دستکاری محیط زیست رودخانه ای خواه به جهت مشکلات مهندسی و خواه به جهت بازسازی زیستگاه ها در صورتی که نتایج زیست محیطی حاصله مشابه شرایط و فرآیند های طبیعی باشند می تواند از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی بسیار پایدارتر باشند قرار دارد تا این که طبیعت و جوامع اکولوژیکی با یکدیگر سازگار باشند. در سالهای اخیر از تنه های درختان جهت ساخت سازه های رودخانه ای همچون بندهای کنترلی و آبشکن ها و .. استفاده می شود. ELJ در بین دیگر سازه های کنترلی جریان سازه ای خاص و مهندسی شده از لحاظ تکرار پیچیدگی های موجود در سیستم های طبیعی می باشد. سازه های ELJ برای اولین بار در سال ۱۹۹۵ در پروژه شخصی جهت محافظت از سواحل رودخانه Cowlitz در ایالت واشنگتن امریکا اجرا گردید. (Abbe et al, 1997).

از سال ۱۹۹۵ تاکنون پروژه های ELJ متعدد موفق در جهت افزایش زیستگاه های آبی و محافظت از زیر ساخت ها و سواحل اجرا شده است. تکنولوژی ELJ در حال ظهور به عنوان یک روش مهم در مهندسی رودخانه در آمریکا مخصوص در پروژه های باز سازی رودخانه در شمال غربی اقیانوس آرام می باشد، که استفاده و کاربرد تکنولوژی ELJ به عهده شورای شرکت های مهندسی آمریکا وانجمن مهندسان عمران آمریکا نهاده شده است، تا بتوان در دراز مدت به یک راه حل پایدار زیست محیطی جهت محافظت از رودخانه ها رسید. ایده ELJ از یک مشاهده آغاز گردید، که الوار چوبی طبیعی نه تنها عامل پیچیدگی های فیزیکی جریان و رودخانه می باشد، بلکه عامل ایجاد زیستگاه های آبزیان بوده و البته می تواند ریخت شناسی و فرسایش در رسوب گذاری رودخانه ای را کنترل نماید.

ELJ باعث ایجاد یک سری چاله و گرداب و موانعی می شود که منجر به افزایش انحراف و تقسیم کانال به چند شاخه می گردد. آنها همچنین شکل دهنده پایداری برای نقاط سخت در کانالها بوده که محلی مناسب و با ثبات جهت رشد گیاهان می باشند که در معرض اختلالات مکرر هستند. با استفاده از افزایش پیچیدگی های فیزیکی جریان رودخانه ها، الوارهای چوبی تنوع زیستگاه های موجود و بهره وری بیولوژیکی سیستم را افزایش می دهند.

تاثیرات موضعی ایجاد شده توسط الوار چوبی عبارتند از چاله های آبشستگی کم عمق، پوشش های پیچیده (فضاهای بینابینی ستونهای آب) موانع شن و ماسه با لایه های متنوع و جزایر گیاهی می باشند، اثرات در مقیاس بزرگتر نیز شامل تبدیل سنگ بستر و کانالهای ساده آبرفتی به کانالهای پیچیده کم عمق (Montgomery et al 1996...) و همچنین ایجاد کانالهای ثانویه و تالاب ها در دشت های سیلابی که به نحو چشمگیری باعث افزایش زیستگاه های آبزیان می شود، می باشد (Abbe et al 2003a). لذا ELJ را علاوه بر محافظت در برابر مواردی همچون فرسایش کناره ها، خوردگی و ترک پذیری کانالها و آسیب پل ها به کار می برند.



تحقیقات مهندسان و دانشمندان بر روی قطعات چوبی و دیگر انواع سازه های انسداد و کنترل جریان کمک کرده تا تکنولوژی ELJ سیر تکاملی خود را طی کند، از جمله تاثیرات زبری لایه مرزی بر روی جریان، جابجایی و انتقال کانالها و عرضه رسوبات (Raud kivi 1990; pitlick 1992)، اثر انسداد کانالها در انحراف جریان و فرسایش، (Grade etal 1961) اثرات جمع شدگی بقایا و قطعات چوبی در پایه های پل و تاثیرات هیدرولیکی و ژئومورفیک (shields and Gipple 1995) را می توان شمرد. تغییر در پلان قوسی کانال و انسداد جریان باعث افزایش تراز محلی (موضعی) آب شده که به نوبه خود باعث زیر آب رفتن و مستغرق شدن کانالهای ثانویه و بخش هایی از دشت های سیلابی که در حالت عادی نایستی به زیر آب بروند، می شود (Miller 1995). لذا با توجه به ایجاد تاثیرات مشابه انسداد جریان و کنترل پلان قوسی کانالها بایستی از آنها به عنوان یک مکانیزم ارتباطی اصلی بین کانال اصلی و کانالهای ثانویه و تالاب ها در دشت های سیلابی استفاده نمود. در محل هایی که انسداد ناشی از کاربرد ELJ به صورت جزئی در مسیر جریان معمولاً چاله های آبستگي و آبگیرهایی را در طول گردابه ها ایجاد می کند. پروسه طراحی در نظر گرفته شده برای ELJ ها با ارزیابی حوضه شروع شده، با تحلیل هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و رژیم رسوبات و دینامیک جریان ادامه پیدا می کند. حصول نتایج معمولاً همراه با شناسایی فرصت ها و محدودیت ها و ارزیابی خطرات مرتبط همراه با اقدامات خاص می باشد.

اگر فرصت های بالقوه کاربرد ELJ ها شناسایی گردد، در نتیجه نوع مناسب الوار چوبی طبیعی بر اساس اهداف پروژه و محدودیت های سایت انتخاب می شود. پس از رسیدن به اندازه و مقیاس الوارهای چوبی، تعداد لایه های ELJ مشخص و ارزیابی ریسک تکمیل می شود، پس از آن سازه منحصر به فرد طراحی و الوارها تهیه شده و در نهایت سازه ساخته شده تحت بارها مورد ارزیابی قرار می گیرد. مصالح مورد استفاده در ELJ ها در درجه اول (البته محدود نمی شوند به) ساقه درختان (الوارهای چوبی) با و یا بدون ریشه هستند. تعداد الوار استفاده شده در هر سازه متفاوت بوده و بسته به طراحی صورت گرفته می تواند از یک تا صدها الوار باشد.

هدف از هر سازه ELJ در درجه اول شبیه سازی عملکرد الوارهای چوبی طبیعی همچون تغییر الگوی جریان، به دام انداختن رسوبات و یا ایجاد چاله های آبستگی (یا گردابه های آبستگی) می باشد و در درجه دوم به نحوی است که نزدیک ترین شبیه سازی به آنچه که ویژگی های طبیعی الوار چوبی است، باشد.

تثبیت ELJ ها به نحوی است که الوارهای چوبی به طور طبیعی به وسیله هندسه منحصر به فرد هر الوار، نحوه قرار گیری و شکل الوارها که موجب قفل شدن آنها با یکدیگر شده و جای گذاری آنها در لایه های آبرفتی در جای خود نگه داشته می شوند. به غیر از روشهای طبیعی فوق روشهای مصنوعی جهت نگهداری الوارها از قبیل وزنه های تعادلی (ماسه و سنگ) و یا رشته کابلهای مهار کننده ویا الوارهای بتنی در صورت لزوم وجود دارد.

سازه های ELJ دارای ۴ المان اصلی هستند:

۱- keylogs (الوار کلیدی یا اصلی)

۲- stackedlogs (توده الوار)

۳- piles (شمع ها)

۴- racked logs (الوار صلب)

هر سازه ELJ می تواند شامل یک یا همه این چهار المان باشد.

## •Keylogs:

الواری منحصر به فرد و دارای ریشه می باشد که در حین لبریز شدن جریان از روی ساختار ELJ تمایلی به حرکت نداشته و به عنوان فونداسیون و اساس یک سازه ELJ عمل می کند. در کانالهای رسوبی این عضو معمولاً در پایین ترین لایه قرار می گیرد. همچنین در مورد کانالهای با بستر سنگی محل قرار گیری این اعضا بر روی بستر کانال و ما بین المان های مسدود کننده جریان (همانند تخته سنگ ها) با دیوارها و کناره های قائم می باشد. قرار گیری و جای گذاری مناسب key member

می تواند یک کانال با بستر سنگی راه، با به دام انداختن رسوبات در بالا دست و پایین دست ساختار به کانال آبرفتی تبدیل نماید.

### ● Stacked logs:

Stacked member مقدار کمی کوچکتر key member بوده و در برخی از ساختارهای ELJ به جهت پشتیبانی و تقویت key member از آن در دو یا چند لایه قائم به صورت افقی استفاده می شود. این اعضا به یکدیگر متصل شده تا یکپارچگی و استحکام سازه افزایش یابد. بیشتر stacked member ها بایستی دارای ریشه قابل توجهی باشند تا از حرکت لایه های فوقانی و تحتانی به خارج سازه جلوگیری به عمل آورند.

### ● Racked logs:

Racked member کوچکترین الوار با بیشترین طیف در قطر الوار و معمولاً بسته به نوع ELJ تنها عضوی است که پس از تکمیل شدن سازه قابل مشاهده و نمایان است. عضو مذکور باعث چگال تر شدن سازه شده و شمع ها و پایه های این قطعات چوبی به صورت بی نظم درست در بالا دست stacked member و key member قرار می گیرند.

این جمع شدگی و انباشتگی قطعات چوبی جریان را در اطراف سازه منحرف کرده و انرژی و میزان جریان را در ما بین سازه کاهش می دهد. پایه های racked member بایستی از ارتفاع (تراز) لبریزی تا پایین ترین نقطه آبستگی امتداد یابد تا از تضعیف ساختار ELJ جلوگیری نماید. (شکل ۲-۲ و ۲-۱)

این المان به میزان قابل ملاحظه ای باعث افزایش لایه هایی جهت زیستگاه های بی مهرگان شده که به نوعی در مورد تمام الوارها صدق می کند. Racked member در میان ستونهای آب قرار می گیرد و در نتیجه آن فضاهای بسیار بیشتری فی ما بین آنها جهت زیستگاه های ماهیان، بی مهرگان، پستانداران و پرندگان به وجود می آید.

## • Piles

عضوی اختیاری برای برخی از انواع ELJ که می تواند به طور چشمگیری ضریب اطمینان پایداری سازه را با افزایش مقاومت برشی سازه افزایش دهد. Pile ها معمولاً در عمق حفاری شده و در هسته ELJ ما بین key member و stacked member و در پایین دست raked member قرار می گیرند. Pile ها معمولاً به عنوان چهارچوب ELJ عمل می کنند تا سازه به طور ثابت در محل خود بر روی بستر کانال باقی بماند. مسئله ای که در این خصوص ساختار را تهدید می کند خطر بالای گردابه است. pile می تواند به صورت عمودی یا مایل قرار بگیرند. pile های مایل جهت محدود کردن جابجایی عمودی دیگر عضوهای ساختار به کار برده می شوند و نگه دارنده raked member ها هستند.

هیچ گونه مواد مصنوعی جهت ساخت ELJ نیاز نمی باشد اما می توان در شرایط خاص و جهت کاهش محدودیت ها یا هزینه از مواد و مصالح مصنوعی نیز استفاده نمود، البته بایستی به این موضوع توجه نمود که استفاده از مواد مصنوعی، نبایستی ظاهر و عملکرد ELJ ها را تغییر دهد. در ساختار های ELJ از pile های فولادی و چوبی (تنه های درختان)، هسته های سنگی و حتی الوار بتنی استفاده می شود.

طراحی ELJ (نوع، اندازه و محل قرار گیری ELJ) به درک درستی از شرایط ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و هیدرولیکی محل ساخت پروژه بستگی دارد و ضروری است تا مشخصات دینامیکی رودخانه و پیش بینی وضعیت آبی این موارد مورد بررسی قرار گیرد. این اطلاعات در مرحله تحلیل گردآوری شده که شامل مستندات تغییرات موارد مذکور در طول تاریخچه رودخانه و در صورت امکان، تشریح و توصیف شرایط غالب موجود قبل از این که تغییرات ناشی از عملکرد انسان در طبیعت رخ دهد، می باشد. کاربرد ELJ در آمریکا و استرالیا نشان می دهد که قطعات چوبی می توانند جهت ساخت

ساختاری پایدار که منجر به شبیه سازی پروسه طبیعی می شود، استفاده گردد. ساختار های ELJ زیستگاه های گیاهی و آبی ارزشمندی را ایجاد می کند، همچنین باعث بهبود مشکلات قبلی (قدیمی) از جمله جلوگیری از فرسایش ساحل، پایه های پل، خوردگی کانالها و کاهش انباشتگی قطعات چوبی متحرک در اطراف پایه های پل می گردد، که این موارد از طریق جلوگیری از رانش بالادست و بهبود عبور آب از پایه های پل رخ می دهد.

مانیتورینگ فیزیکی اطلاعات ارزشمندی از عملکرد ELJ ها و یا شکست مکانیزم ها و مهمترین المان های سازه ای در طراحی ارائه می ده، از سوی دیگر مانیتورینگ بیولوژیکی (زیستی) نیز گواهی بر این موضوع است که این سازه ها زیستگاه بسیاری از بی مهرگان، ماهی ها و دیگر آبزیان است و می توان با بررسی و بازرسی بعد از ساخت ELJ در چندین پروژه به بهبود در طراحی نسل جدیدی از ELJ ها دست یافت.

تکنولوژی ELJ یک جایگزین مناسب برای راه حل های مهندسی سنتی و قدیمی رودخانه هاست که در ذیل به تعداد از آنها اشاره شده است:

۱. ایجاد و افزایش زیستگاه های گیاهی و آبی در رودخانه های جنگلی (افزایش کمیت و کیفیت زیستگاه های ماهیان از جمله بسترهای تخم ریزی و...).
۲. منفعت زیست محیطی ناشی از پوشاندن و زره پوش کردن ساحل رودخانه و انحراف جریان به جهت توقف، کنترل مرتبه آبستگي و یا فرسایش معکوس (ته نشینی رسوبات).
۳. حفاظت رودخانه ها از سیل ها با توزیع و پخش پیک سیل، انحراف جریان از موقعیت های بحرانی، اتصال مجدد دشت های سیلابی.
۴. سازه های درون جریانی پایدار در جهت محدود کردن حرکت جریان.
۵. کنترل رانش زمین ناشی از فرسایش رودخانه ها.

۶. مدیریت و محافظت کالورت ها و پلها، شامل محافظت از پایه ها، بهبود عبور و انتقال جریان و مدیریت بقایای چوبی.

۷. بازسازی سیستم زیستگاهی و هیدرولیکی دشت سیلابی به ویژه دیواره ها و بستر کانال

۸. پیاده سازی استراتژی های بلند مدت و پایدار برای ترمیم و بازسازی و توسعه زیر ساخت ها در محیط های رودخانه ای.

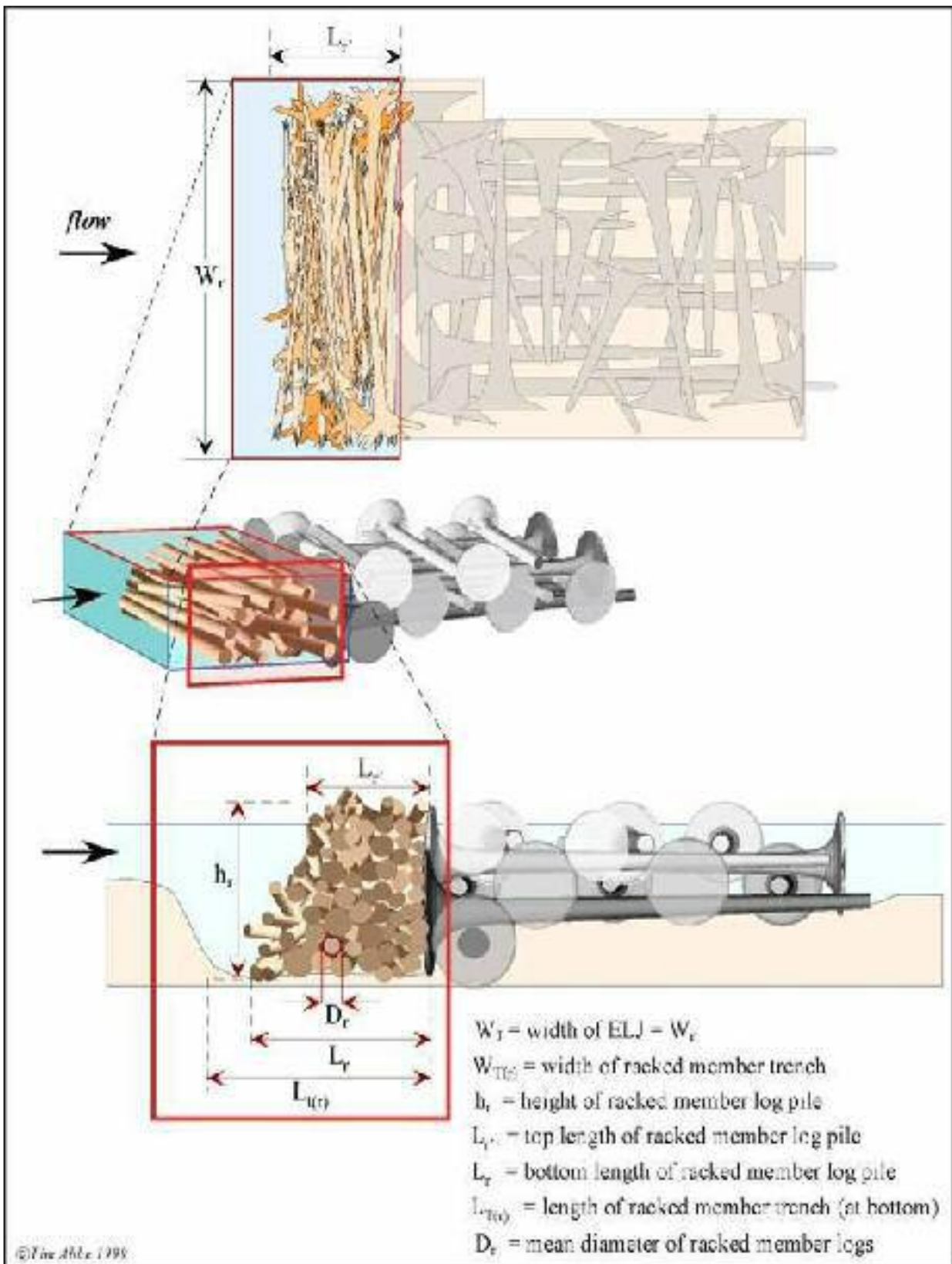
۹. بهبود تغییرات هایپورهیک (ریخت شناسی) جریان با شناسایی گرادیان هیدرولیکی ما بین ELJ و دیواره کانال، افزایش تغییرات هایپورهیک برای کاهش دمای آب و افزایش کیفیت آن.

۱۰. افزایش پوشش سایه با تقسیم کردن کانال به کانالهای باریک و در نتیجه کاهش مقدار تابشی که به سطح آب می رسد.

۱۱. تأمین شرایط لازم برای سهولت کشتی رانی.



شکل ۱-۲: نمونه ای از طراحی ELJ های منحرف کننده جریان و مثالی از ساخت سازه جهت محافظت از دیواره سمت چپ (روبروی جریان) و ایجاد گودابه و ناحیه جدادگی و پوشش پیچیده ای برای ماهیان در رودخانه North Fork Stillaguamish. (جریان از چپ به راست می باشد). Racked logs قابل رویت بوده در حالیکه هسته سازه در زیر خاک مدفون شده است.



شکل ۲-۲: تصویر طراحی ELJ که باعث انحراف جریان شده، نمایش محل قرارگیری Racked logs در انتهای سازه.

## ۲-۴-۲ ارزشهای و فواید بیولوژیکی ELJ:

بقایای چوبی قسمتی طبیعی از اکوسیستم جریان در سرزمین های جنگلی است. درک صحیح اهمیت عملکرد اکولوژیکی بقایای چوبی یک گام مهم و اساسی در بازسازی اکوسیستم رودخانه است. (الخصوص در مورد بهبود جمعیت ماهیان قزل آلا). بقایای چوبی بزرگ یک جزء حیاتی و با ارزش در ایجاد زیستگاه های برای آدروموس (نوعی ماهی) و ماهیان ساکن است. زمانی که یک تنه درخت و یا قسمتی از یک درخت به داخل جریان سقوط می کند، یک سری تاثیرات آبی بر فیزیک زیستی دارد و باعث افزایش پیچیدگی های زیستگاه ها می گردد، هرچند که تنوع این زیستگاه ها در جریان بستگی به میزان انباشتگی طبیعی ساقه ها، شاخه ها و ریشه ها دارد.

قطعات بزرگ چوبی جریان آب را آهسته کرده، باعث هدر رفت انرژی و به دام انداختن رسوبات و مواد ارگانیک و ایجاد میکرو زیستگاه های برای ماهیان و بی مهرگان می شود. (Dallof 1994) از آن جا که بقایای چوبی باعث و پیش نیاز زیستگاه ها و مواد غذایی در دسترس برای ماهیان و بی مهرگان آبی است، وجود آنها اهمیت حیاتی برای اکوسیستم جریان دارد.

چاله های آبشستگی (محل زیستگاه های آبزیان) در اطراف هر سازه باعث ایجاد مقاومت و اصطکاک در مقابل جابجایی و انتقال جریان می گردد. با این که تقریباً هر چیزی باعث ایجاد اصطکاک در جریان از جمله در دیواره های و بستر جریان می شود، قطعات چوبی بزرگ، تخته سنگ ها، برآمدگی های سنگ بستر اغلب عناصر تشکیل دهنده و عاملین چاله ها و گردابه ها هستند، در حالیکه قطعات چوبی بزرگ (به ویژه الوارهای چوبی) آشکار ترین این المان ها هستند و تقریباً در ایجاد ۱۰۰٪ چاله ها و گردابه ها در رودخانه های با اندازه کوچک تا متوسط که جریان در محیط جنگلی جاری است نقش بازی می کنند. (Harmon et al. 1986)

الوارهای چوبی در مقیاس های مختلف اعم از میکروسکوپی، در لایه های ریزدانه، در شکل بستر، در عرض کانال و طول خم و انحنا موج موثرند. به دلیل این تاثیرات مستقیم و غیرمستقیم، الوارهای چوبی



می توانند به طور قابل ملاحظه ای شرایط را برای طیف گسترده ای از موجودات آبی (مانند حشرات، ماهی ها و دوزیستان) و موجودات خاکی (برای مثال خزندگان، پستانداران و پرندگان) از نوزاد تا بالغ بهبود بخشند.

پیچیدگی فیزیکی ناشی از الوارهای چوبی و تاثیرات آنها بر روی شرایط هیدرولیکی منجر به ایجاد طیف گسترده ای از زیستگاه ها در یک ناحیه کوچک می شود. الوارهای چوبی طبیعی ELJ معمولاً شامل ده ها عدد درخت بزرگ و صدها عدد قطعات چوبی کوچکتر می باشد که منجر به افزایش سطح تماس با جریان می گردد. الوارهای چوبی بزرگ می توانند در فرایند کانالها در هر مقیاس و اندازه، از شکل گیری چاله ها تا ایجاد دره ها و شکل گیری دشت های سیلابی موثر باشند. زیستگاه ماهیان قزل آلا از فرآیند های طبیعت که به عرضه و حرکت آب، رسوبات و چوبها در و از طریق رودخانه ها و جریان حاکم است، تاثیر می پذیرد.

فرسایش دیواره ها و سواحل ناشی از ساخت و ایجاد مجراهای آب و حذف پوشش درختان در دراز مدت می باشد.

برخی عملکرد ها باعث تغییر در تناوب (فرکانس) و بزرگی سیلاب ها، تغییر الگوی فصلی جریان و منحنی هیدروگراف ها می شود، به علاوه، تعدیل و تنظیم جریان، الگوی انتقال رسوبات و مواد غذایی و معدنی را در سیستم رودخانه تغییر می دهد. برای مثال در اسکاتلند اصلاحات و تغییرات انسانی بر روی زیستگاه ها که ناشی از گسترش و توسعه بوده، باعث آسیب، به اکوسیستم رودخانه های مهم شده است که این مسئله نیز باعث کاهش جمعیت ماهیان قزل آلا شده است. در دهه های اخیر شاهد کاهش شدید صید ماهیان قزل آلا در رودخانه های اسکاتلند بوده ایم. این کاهش به نظر می رسد با طیف وسیعی از عوامل از جمله افزایش مرگ و میر ماهیان قزل آلا در ارتباط باشد. با این حال تغییراتی در شیوه مدیریت آب و خاک در بسیاری از حوضه هایی که دارای رودخانه های حاوی ماهیان قزل

می باشد، رخ داده است. که این تغییرات شامل تغییرات رژیم جریان و رسوب در رودخانه بوده که به شدت کشاورزی، جنگلداری و تولید نیروی برق آبی را تحت تاثیر قرار می دهد.

تغییر کاربری اراضی معمولاً باعث کاهش ذخیره و منابع قطعات چوبی و حذف چوبهای بزرگ از بستر جریان می گردد (تجمع طبیعی درختان شاخه ها و ریشه ها). حذف قطعات چوبی بزرگ معمولاً بر ساده سازی زیستگاه ها و کمتر شدن آنها و کوچکتر شدن ماهیان موثر است. به طور خاص تر، حذف قطعات چوبی بزرگ باعث کاهش زیستگاه های چاله های آبی (e.g Bilby .1084)، کاهش پیچیدگی زیستگاه ها (e.g Lisle .1986)، کاهش در تعداد ماهیان و متوسط اندازه آنها، زیست توده ها برای گونه های ماهیان قزل می شود (e.g Dolloff .1986).

ساده سازی زیستگاه ها (یعنی کانالهای ساده تر با گردابه های و چم آب های کمتر) پس از برداشت و جمع آوری قطعات چوبی درون جریان در دراز مدت باعث تغییر در تنوع گونه های ماهیان از جمله تغییر در تسلط و از بین رفتن گونه های مشترک قبلی می شود (۱۹۹۳ و Reeves وهمکاران). پایداری و بازسازی زیستگاه ها و گونه ها نیاز به حفاظت، مرمت و نگهداری از فرایند اکولوژیکی دارد که آنها را علاوه بر این تشویق به حفاظت مستقیم از زیستگاه ها می کند.

بدون محافظت کافی از زیستگاه ها، توسعه باعث کاهش بیشتر (بیش از اندازه) تعداد و پیچیدگی زیستگاه ها، افزایش آبستگی جریان کانال، کاهش یا افت انتقال (جابجایی) کانال، عرضه رسوبات، بکارگیری قطعات چوبی بزرگ و کاهش بازدهی و تنوع گونه ای می شود (Bottlon and shellberg, 2001). دشت های سیلابی شامل طرح پیچیده ای از مسیر جنگلی و تالاب است که به صورت یکپارچه به شبکه کانالها ارتباط دارند. یکی از اجزا اصلی که باعث پیچیدگی این سیستم می شود وجود الوارهای چوب که باعث جدا شدگی جریان، افزایش سطح آب، ایجاد چاله های آب (گردابه) و فراهم آوردن پوشش فراوانی برای ماهیان مخصوص ماهیان قزل آلا می گردد، همانطور که استفاده مجدد قطعات چوبی بزرگ

(به ویژه در قالب ELJ) در سیستم رودخانه های اسکاتلند، به بهبود کاهش جمعیت ماهیان قزل آلا کمک کرده است.

در هنگام طراحی ELJها، فواید و مزایای استراتژیک متعددی در نظر گرفته می شود که این مزایا عبارتند از پشتیبانی از منابع غذایی، افزایش ارتباط هایپورهیک و تغییرات آن، تنوع سنگ دانه های جریان، ایجاد زیستگاه های تخم ریزی ماهیان قزل آلا، توانبخشی زیستگاه ها، محافظت از سواحل و دیواره ها، کنترل شیب رودخانه، نگهداری قطعات چوبی، پخش و توزیع نقطه پیک سیل.

یک ELJ کوچک ساخته شده در پایین دست رودخانه Quilcence در غرب واشنگتن یک نمونه از ساختارهای ELJ است که به عنوان راه حلی جهت افزایش فوری جمعیت ماهیان قزل آلا در رودخانه ای که دست خوش تغییر و تحولات تاریخی قابل توجهی شده اند، می باشد.

تفاوت هد موضعی ناشی از ساخت ELJ موجب افزایش پستی و بلندی بستر شده و با جریان هایپورهیک مرتبط است.

Upwelling Areas ماندگاری تخم را با تعدیل کردن محیط زیست دوره نهفتگی تخم و افزایش تبادل آب در اطراف تخم و در نتیجه جایگزینی اکسیژن و از بین بردن متابولیت (سوخت و ساز) بهبود می بخشد. (Bjornn and Reiser 1991). جریان هایپورهیک با تنظیم دمای داخل لانه تخم ریزی به فراهم کردن ورودی آبی که گرمتر از آب رودخانه است کمک می کند، در نتیجه باعث محافظت از تخم در طول دوره هایی که دما بسیار پایین است شده و باعث خروج به موقع نوزاد از تخم می گردد. (Berman & Quinn 1991).

چند هفته پس از ساخت ELJ در پایین دست Big Quilcence هفت عدد تخم در ۱۰ متری سازه یافت شد، در حالیکه در فاصله ۱۰ تا ۵۰ متری بالا دست و پایین دست سازه هیچ تخمی یافت شد، (شکل ۲-۳) که این خود نشانی بر عملکرد ساختارهای ELJ در جهت افزایش جمعیت آبزیان می باشد. با این وجود ELJها تغییرات موضعی در توپوگرافی بستر رودخانه، مواد بستر و جریان هایپورهیک، که به نوبه

خود در تخم ریزی ماهیان قزل آلا در این بازه رودخانه تاثیر گذار بوده است را افزایش می دهد. اثرات سودمند ELJ به ماهیان قزل آلا بالغ محدود نمی شود. در یک پروژه ELJ اجرا شده در پایین دست رودخانه Elwha در واشنگتن یک گوداب پیچیده بزرگ که به وسیله ساختار ELJ شکل گرفته، زیستگاه پرورشی را برای ماهیان نوجوان فراهم نموده است (شکل ۲-۴). از زمانی که پروژه ها اجرا شده است معمولاً دسته های بزرگی از ماهی های قزل آلا نوجوان در نزدیکی در محل گرداب ها یافت می شود. ایجاد زیستگاه های جزء بندی شده (تقسیم بندی شده) و پیچیده به وسیله ELJ ها احتمال شکار را کاهش داده و ظرفیت موجود ماهیان را افزایش می دهد (شکل ۲-۵، ۲-۶ و ۲-۷). در پایین دست رودخانه Elwha، گوداب ها و تنوع گونه های مواد غذایی در مقایسه های بزرگتری در قیاس با مناطقی که زیستگاه ها بدون وجود ELJ می باشد، وجود دارد (شکل ۲-۸).

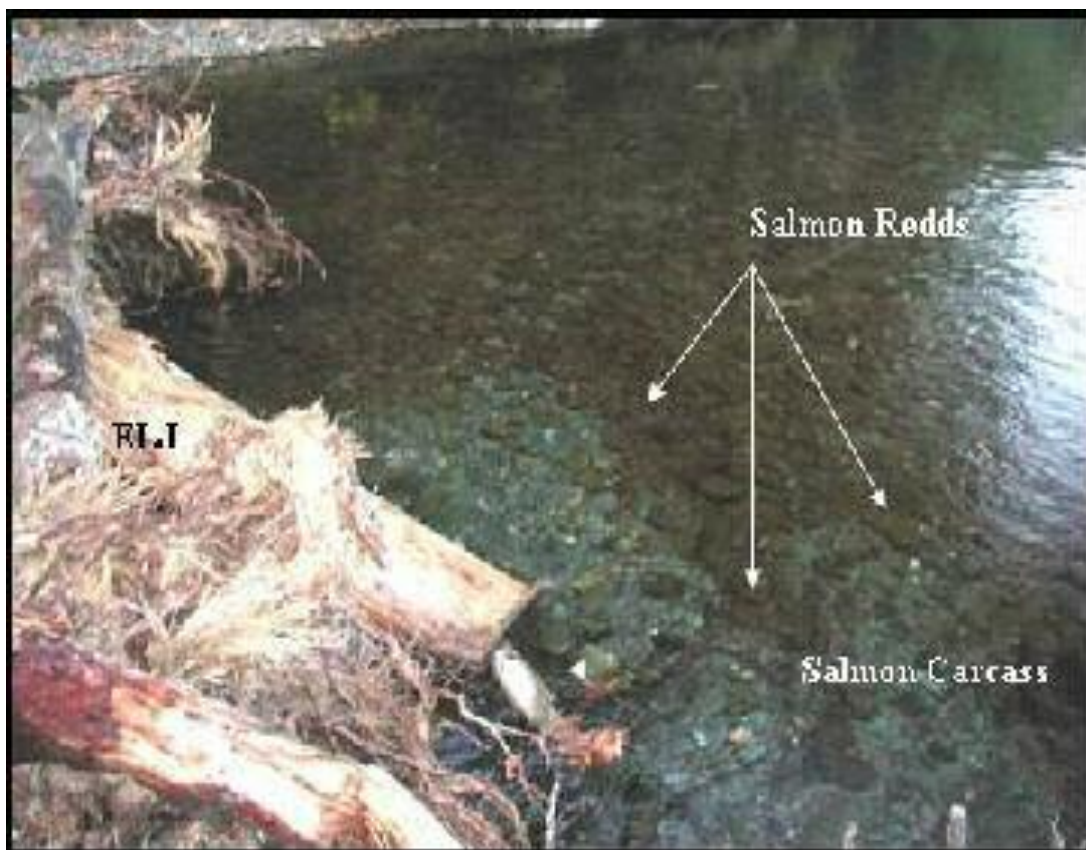
ساخت ۵ عدد ELJ در یک بخش ۲۰۰ متری از رودخانه North fork stilliguamish در واشنگتن منجر به توزیع جغرافیایی برجسته تر و بارزتری از ماهیان قزل آلا بالغ شده که باعث سهولت ماهیگیری در این منطقه شده است (شکل ۲-۹). معیارهای بهره وری و فواید بیولوژیکی، مانند زیست توده های پرینایتون (اندامگان متصل به سطح سنگ ها مثل جلبکها) و تراکم بی مهرگان، در سایت های دارای ELJ بیشتر و بالاتر از سایت های بدون ELJ است (شکل ۲-۱۰ و ۲-۱۱). ساختارهای ELJ به ویژه موجب فراهم نمودن پوششی برای ماهیان آزاد در طول روز (و تمایل ماهیان به حرکت در امتداد لبه کانال در طول شب) می شوند (شکل ۲-۱۲). در حالی که هنوز تعداد زیادی تحقیقات عملی وجود دارد تا در خصوص اکولوژی رودخانه ها و بهبود زیستگاه ها (مانند ELJ) صورت پذیرد، روشن است که این ساختارها یکی از موثرترین راه های مستقیم و غیر مستقیم جهت باز سازی اکوسیستم رودخانه ها و به نفع ماهیان آزاد می باشد.

در تحقیقات میدانی توسط (sand baum, 2001) در رودخانه Ammerian در شهر تمیلاند سوئد از بقایای چوبی بزرگ به عنوان یک ویژگی فیزیکی مهم زیستگاههای قزل آلا قهوه ای یاد شده است

که بر فراوانی آنها در طول فصل رشد موثر است (salmotrutta). براساس یافته های sand baum افزایش پیچیدگی زیستگاه ها ممکن است باعث افزایش فراوانی ناشی از قزل آلی قهوه ای که ناشی از افزایش انزوای بصری است شود، که در عمل به کاهش رقابت درون گونه ای برسر فضا می انجامد. به علاوه sand baum ثابت کرد که افزایش مقدار بقایا و قطعات چوبی در رودخانه و جریان اثرات مثبتی در فراوانی قزل آلی قهوه ای در تابستان دارد. ماهیان نیز تمایل به توزیع و زاد و ولد در فضاهای ما بین بقایای چوبی دارند، که نشان دهنده استفاده آنها از بقایای چوبی به عنوان احتمالاً پوشش ویا منبع تغذیه ویا هر دو آنها می باشد. یکی از مهمترین اثرات Log-Jam ها در مقیاس بزرگ در ایجاد زیستگاه ها چند کاناله (چند مجرای) می باشد، که افزایش کل زیستگاه ها ناشی از چند فاکتور است (برای مثال از طریق افزایش تجمعی طول کانال و تعداد گودابه ها). نتایج حاصله از نظارت های بیولوژیکی در رودخانه های شمال غربی اقیانوس آرام (coe el all) نشان دهنده پاسخ مثبت ماهیان به استفاده از ساختار پیچیده قطعات چوبی می باشد (شکل های ۲-۷ و ۲-۸ و ۲-۹).

ساختارهای ELJ در پایین دست رودخانه Elwha فراوانی ماهیان آزاد را افزایش داده و تقریباً همه گونه های ماهیان به احتمال زیاد در بخش هایی از کانال که دارای ELJ می باشند دارای تراکم بالاتری به نسبت بخش های بدون ELJ هستند (شکل ۲-۷). غنای گونه های ماهیان در زیستگاه های اولیه و ثانویه ایجاد شده توسط الوارهای چوبی مانند گودابه ها و کانالهای جانبی بالاتر می باشد (شکل ۲-۸).

Pess و همکاران (۲۰۰۲) به طور مستند توزیع مجدد شینوک ها و ماهیان آزاد بالغ را در اطراف سازه های ELJ در رودخانه North fork stillagaumish در سال ۱۹۹۸ که به عنوان یک واکنش به بهبود کیفیت زیستگاه های موجود تفسیر شده، گردآوری نموده است (شکل ۲-۹). ساخت ELJ در رودخانه North Fork Stillaguamish منجر به افزایش نوسانات گودابه ها، عمق گودابه ها و پوشش چوبی کانالها می شود. بلافاصله پس از ساخت ELJ نوسانات رفتاری گودابه ها، تمایل به افزایش از مقیاس یک عدد در هر کیلومتر به ۵ گودابه در هر کیلومتر را دارند. عمق گودابه ها از متوسط ۰/۴m قبل از ساخت ELJ ها به ۱/۵m بعد از ساخت می رسد. پس از ساخت ELJ ها، شینوک و ماهیان آزاد بالغ تمایل به پراکنده شدن در گودابه های موجود و با کیفیت را به جای تراکم و جمع شدن در یک گودابه قبل از ساخت ELJ، دارند (شکل ۲-۹). تغییرات روزانه در جمعیت ماهیان در اطراف ELJ به طور مستند در شکل ۲-۱۲ ارائه شده است (peters2002).



شکل ۲-۳: هم زیستی مسالمت آمیز ماهیان قزل آلا با یکدیگر در مجاورت ELJ در رودخانه Big Quilcene در ایالت واشنگتن.



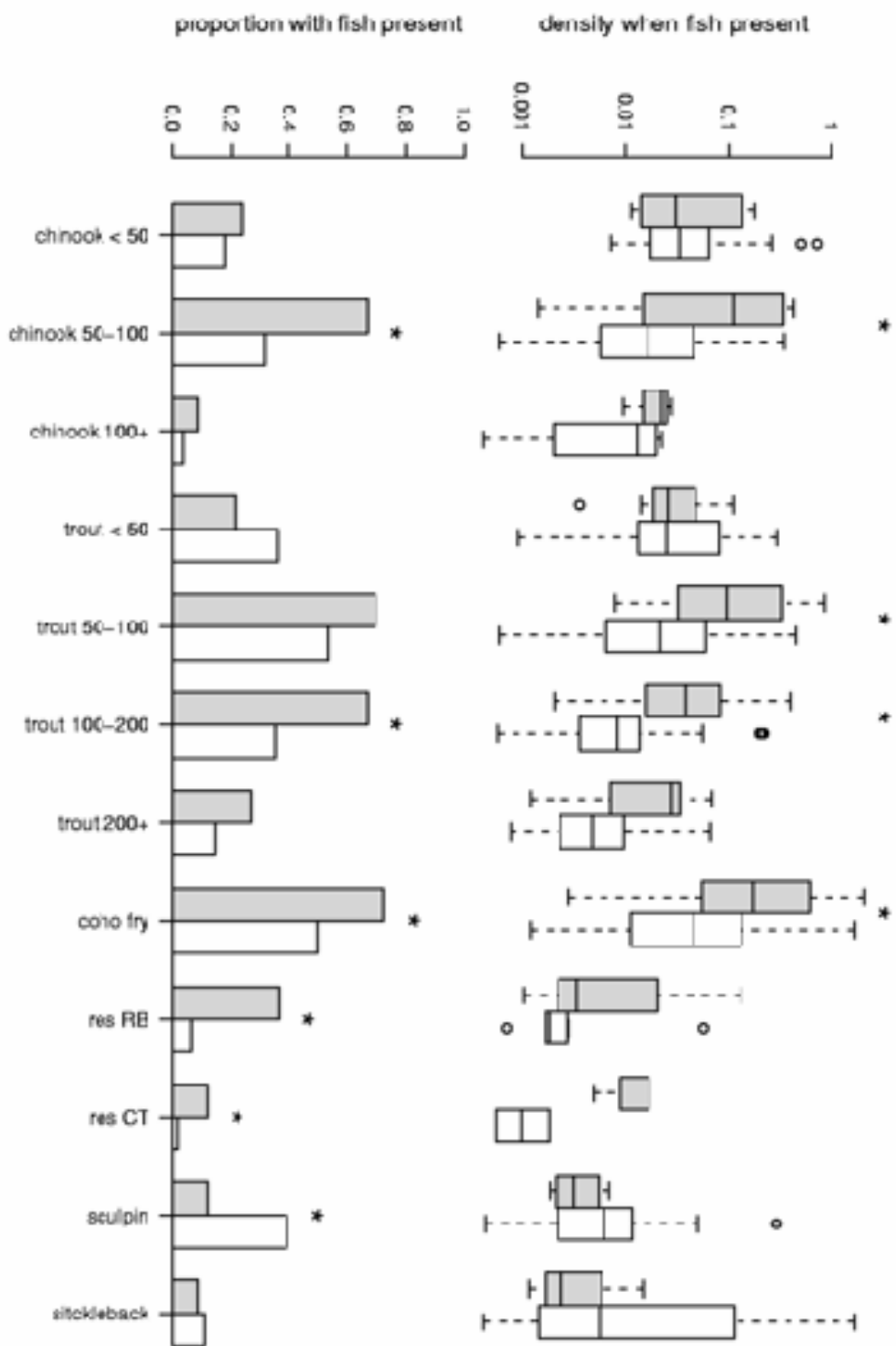
شکل ۲-۴: تجمعی از ماهیان قزل آلا جوان دقیقاً در گودایی در بالادست ELJ در رودخانه Lower Elwha در ایالت واشنگتن.



شکل ۲-۵: مجموعه ای از لاشه های ماهیان قزل آلا و بقایای مواد آلی بر روی ساختارهای ELJ در رودخانه Lower Elwha در ایالت واشنگتن.

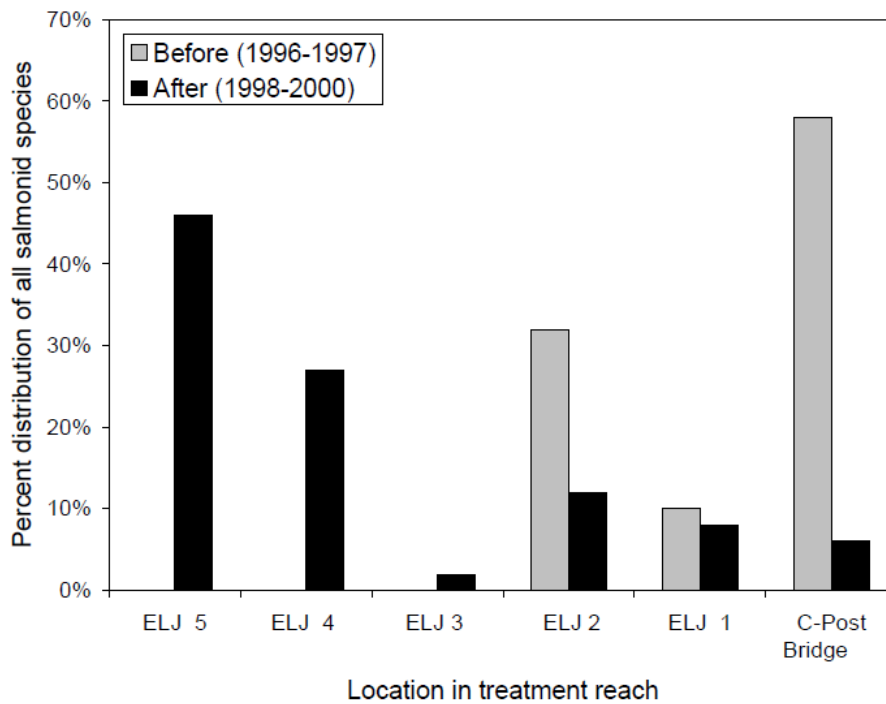


شکل ۲-۶: تصویر ماهی آزاد چینوک (نر و ماده) در زیر ساختار ELJ در رودخانه North Fork Stillaguamish در ایالت واشنگتن.

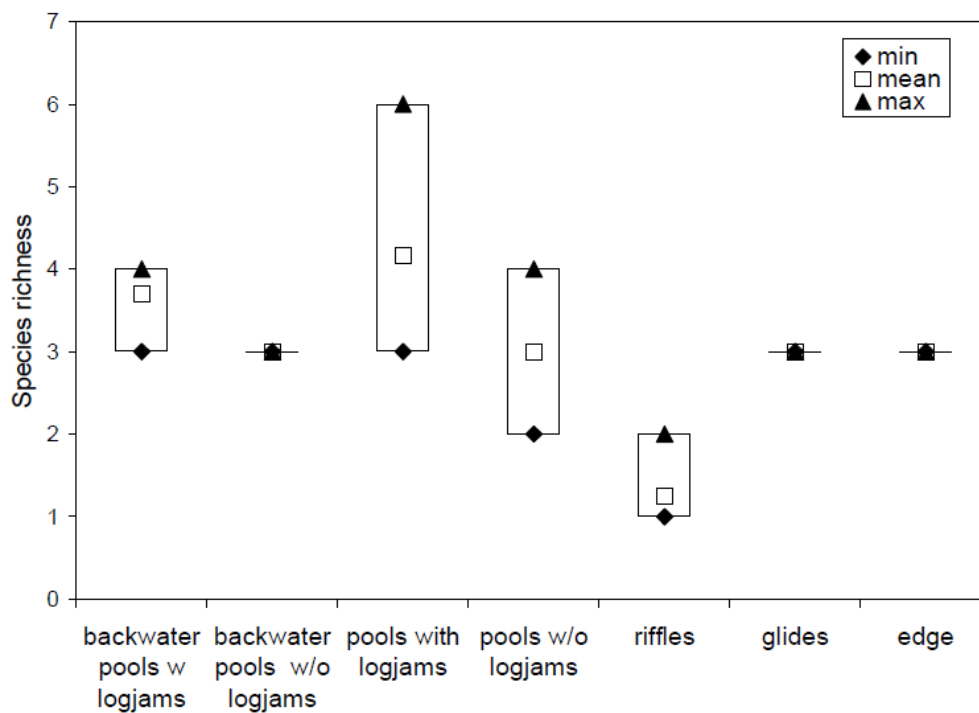


شکل ۲-۷: تراکم ماهی در بخش های مختلف رودخانه Lower Elwha در وجود (مبینه های خاکستری) و عدم وجود ELL (مبینه های سفید) از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۳ نشان از تراکم ماهیان در بخشهایی که ساختار های ELL حضور دارد. به استثنای ماهی قزل آبی که کمتر از ۵۰ mm طول دارند.



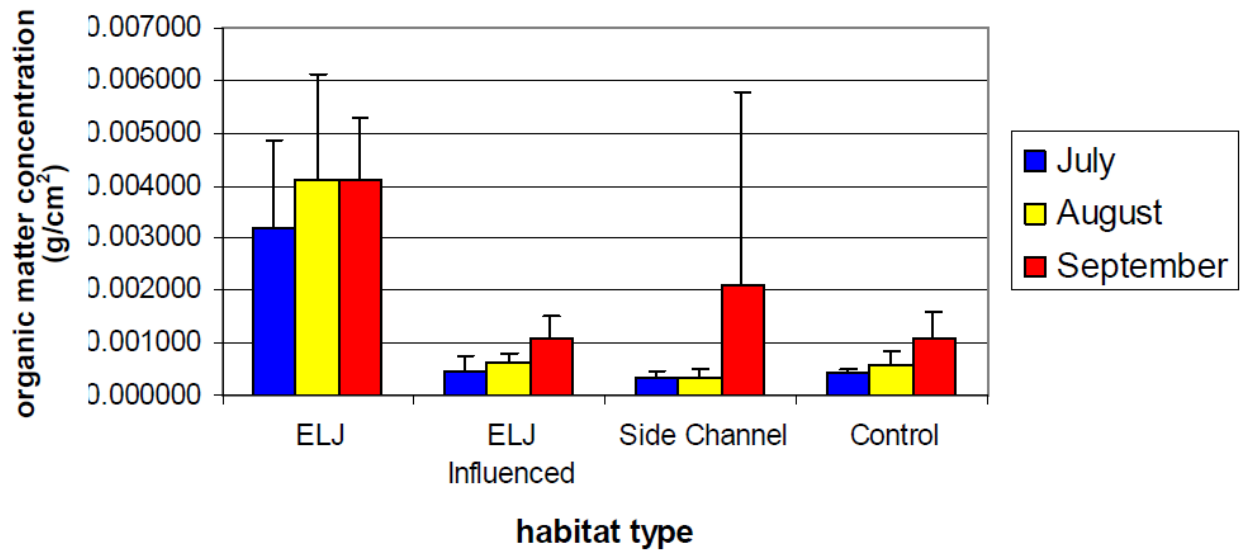


شکل ۲-۸: تعداد ماهیان موجود در واحد زیستگاه در حضور و عدم حضور ELJ در رودخانه lower Elwha.

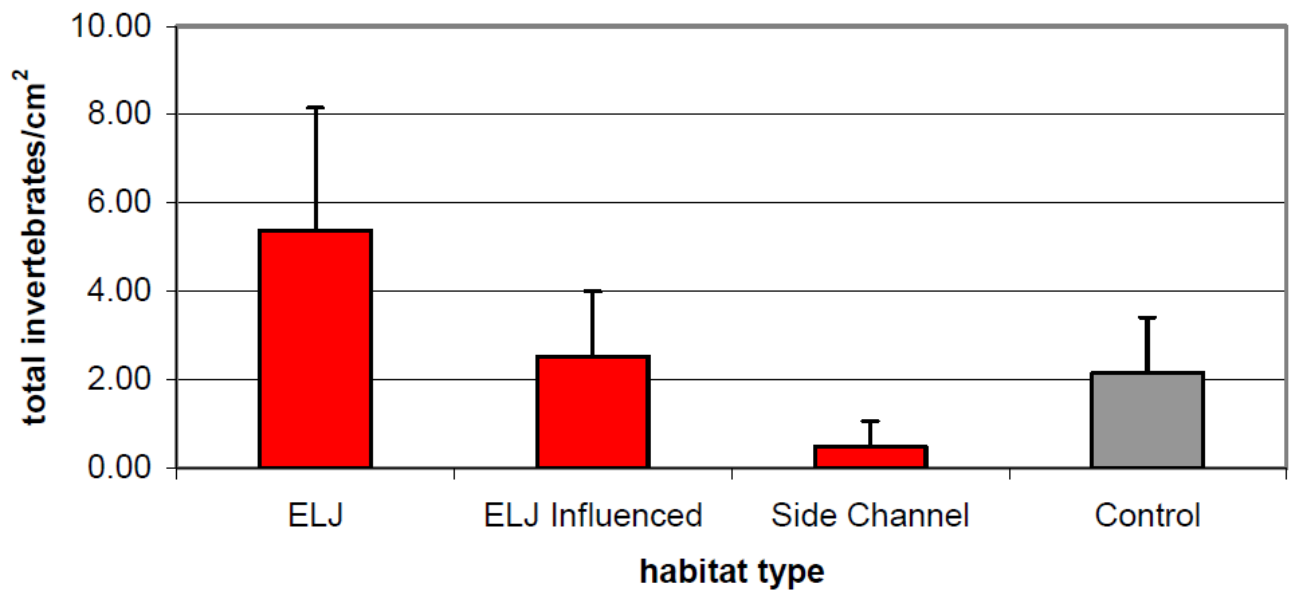


شکل ۲-۹: باز توزیع ماهیان آزاد قزل آلا در طول بخشهای مختلف رودخانه North Fork Stillaguamish در محدوده ای که ELJ ساخته شده است.

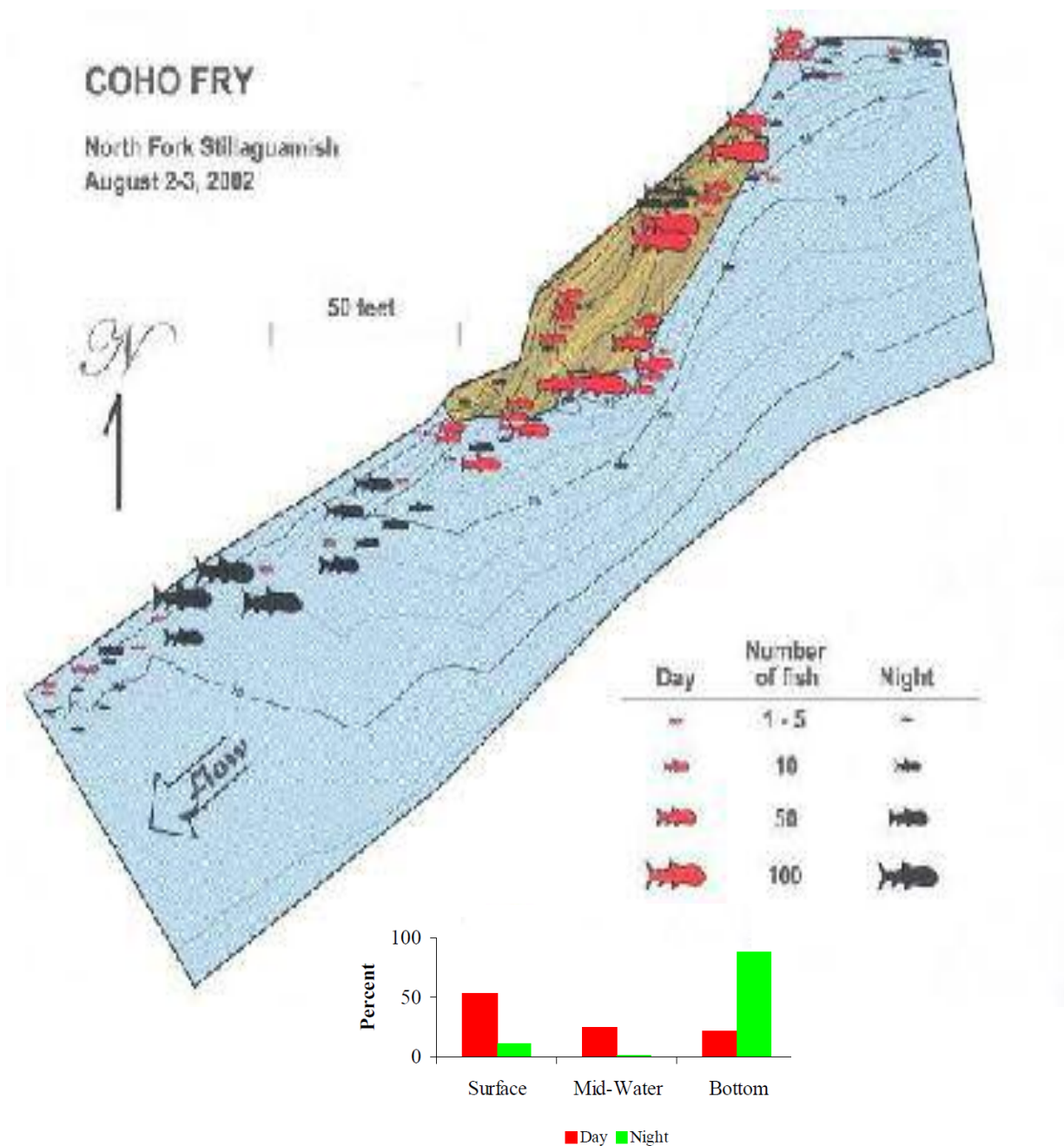
## Organic Matter



شکل ۲-۱۰: توده های جلبکها در زیستگاه های دارای ساختار های ELJ مقایسه شده است با دیگر انواع زیستگاه ها.



شکل ۲-۱۱: تراکم بی مهرگان در زیستگاه های دارای ساختار های ELJ مقایسه شده است با دیگر انواع زیستگاه ها.



شکل ۲-۱۲: نتایج بررسی های غواصی شبانه روزی در رودخانه North Fork Stillaguamish به جهت تعیین تمایز های قابل تشخیص جانورانی در انواع مختلف زیستگاه ها که توسط Coho Fry صورت گرفته است.

دریک تحلیل توسط coe همکاران آنها دریافتند که تراکم بی مهرگان در اطراف ساختارهای ELI ایجاد شده در پایین دست و رودخانه Elwha به طور قابل ملاحظه ای بالاتر از تراکم در بخش مرجع رودخانه است. روند مشابهی در رودخانه stillaguamish که نشان دهنده تراکم بالاتر بی مهرگان در بخش مرجع

رودخانه می باشد، یافت شده است. تفاوت قابل ملاحظه ای در متوسط غلظت مواد آلی مابین قسمتی از رودخانه که دارای ساختار ELJ است با بخش مرجع رودخانه در رودخانه Elwha وجود دارد. البته با توجه به این مطلب که در ماه آگوست، غلظت مواد آلی در رودخانه دارای ساختار ELJ بیشتر از ماه های دیگر و در بخش مرجع کمتر از هر ماه دیگری است. CEO و همکاران دریافتند که هیچ تفاوت قابل ملاحظه ای بین دو بخش رودخانه از نظر متوسط غلظت کلروفیل وجود ندارد، در حالیکه تفاوت قابل ملاحظه ای بین کلروفیل در ماههای مختلف در هر یک از بخش ها و شاخه های رودخانه وجود دارد. غلظت کلروفیل در بخش مرجع رودخانه در ماه سپتامبر به بالاترین میزان خود و در بخش مرجع رودخانه در ماه آگوست به کمترین مقدار خود می رسد.

CEO و همکاران به این نتیجه رسیدند که سازه های چوبی پیچیده مانند ELJ کمک می کنند تا سطح بالایی از بهره وری در سیستم رودخانه های بزرگ به عنوان یک زیستگاه فیزیکی در جریان های قوی و یک بستر مناسب جهت تولید مثل وجود داشته باشد.

زیست توده های پرفایتون بزرگتر و بی مهرگان متراکم تر در زیستگاه های ELJ ها نشان از بهره وری بالاتر توسط سطوح تغذیه ای پایین تر در این زیستگاهها و مواد غذایی بالقوه برای ماهیان آزاد (قزل آلا) می باشد (شکل های ۲-۱۰ و ۲-۱۱) (CEO و همکاران). ELJ ها کمک به ایجاد و حمایت از یک گونه منحصر به فرد از بی مهرگان (حیوانات بینابینی کوچک و ریز که در رسوبات خاکی زندگی می کنند). می نماید که به ندرت در دیگر زیستگاه ها پیدا می شود (CEO و همکاران). نشان داده شده که بی مهرگان تحت تاثیر فرایند مواد مغذی و پویایی مواد آلی در سیستم های آبی هستند. همچنین دیگر نظارت های بیولوژیکی نشان دهنده تجمع بقایای چوبی به طور مستقیم به نفع بی مهرگان (sudduth and meyer 2006) و ماهیان (Bond and lake 2005) است به عنوان مثال (soulsby 2005) استراتژی های مدیریتی زیر را به عنوان کلیدی برای بهبود زیستگاه ماهیان، در رودخانه ها در اسکاتلند شناسایی کرده است:

۱- بازسازی زیستگاههای تخم ریزی.

۲- افزایش پوشش ماهیان.

۳- حذف مانع مصنوعی مهاجرت.

۴- ثبات و پایداری سواحل.

۵- مدیریت گودابه ها.

۶- مدیریت پوشش گیاهی در دیوارهای جانبی (سواحل جانبی).

۷- مدیریت پوشش گیاهی کانالها.

۸- ساخت پلتفرم ماهیگیری.

تمام این استراتژی های مدیریتی کلیدی را می توان به طور مستقیم و غیر مستقیم از طریق اجرای فناوری ELJ ها پیاده سازی نمود.

یکی از مهمترین تاثیرات ELJ بر روی زیستگاه ها ایجاد multi channel, anabranching در طول کانال ها و تعدا گودابه ها می باشد که تعداد کل زیستگاه ها را افزایش می دهد.

Gearagh در ایرلند یکی از آخرین جنگل های آبرفتی و شبه طبیعی anastomosed postglacial alluvial forest در غرب اروپاست که با صدها جزیره کوچک شناخته می شود توسط کانالهای با شیب کم و متصل به یکدیگر از همدیگر جدا شده اند. در Gearagh بقایای چوبی و توده ریشه های درختان نقش اصلی در جدا سازی جریان را ایفا کرده و باعث تغییرات در توزیع سرعت در کانال و حاشیه رودخانه ها می شوند. (Harwood and Brown 1993) الوار چوبی طبیعی کاملاً باعث ایجاد و نگهداری سیستم کانالهای چند شاخه (anabranching) همان طور که در شکل ۲-۱۳ نمایش داده شده است، می شوند. کاهش جمعیت ماهیان آزاد (قزل الا) به احتمال زیاد دارای عواقب زیست محیطی دیگر می باشد. به عنوان مثال، علاوه بر آلودگی کشاورزی و صنعتی از بین رفتن زیستگاه ها به دلیل فعالیت های مهندسی

در رودخانه ها، می توان کاهش مروارید صدف آب شیرین را در ارتباط با کاهش جمعیت ماهیان قزل آلا دانست.

مروارید صدف آب شیرین نیاز به جمعیت قزل آلی سالم جهت تکمیل چرخه زندگی خود دارند. نوزاد صدف به عنوان انگل در آبشش ماهیان قزل آلا بوده و این تنها میزبان جهت زنده ماندن برای نوزادان صدف (صدف لارو) می باشد، بنابراین با کاهش جمعیت ماهیان آزاد و قزل آلا، جمعیت صدف آب شیرین نیز کاهش می یابد. از این رو استفاده و کاربرد بقایای چوبی از طریق ساخت ELJ ها باعث ایجاد آبشارهای کوچکی شده که در جهت ایجاد اکوسیستم رودخانه ای مفید می باشد.



شکل ۲-۱۳: نمونه ای از چند شاخه شدن در رودخانه Taiya در شمال غربی آلاسکا، که مورفولوژی کانال تحت تاثیر الوار های چوبی طبیعی و جنگل های کنار رودخانه ای.

## ۲-۴-۳ کاربرد ساختارهای ELJ:

در طول دهه گذشته انواع مختلفی از ELJ ها ساخته شده که در ادامه نام برده شده اند:

- Rickreal Creek, Dallas Oregon
- Upper Cowlitz River, Washington
- Cibus River, Washington
- North Fork Stillaguamish River, Washington
- Lower North Creek, King County, Washington

- Williams River New south wales Australia
- Bronson Creek, Hillsboro, Oregon
- South Fork Nooksack River, Washington
- Hoh River, Washington

این سازه ها با هدف شبیه سازی و افزایش ویژگی های طبیعی رودخانه ها، افزایش زیستگاه ها، پیچیدگی و توزیع هیدرولیکی زیستگاه ها، اصلاح کانالهای تخریب شده، کاهش فرسایش مداوم سواحل «دیواره های» رودخانه، حفاظت از زیر ساخت ها و زندگی بشر طراحی شده است. پروژه های ELJ مزایای متعددی در سطح های مختلف دارد، برای مثال از ELJ می توان جهت کنترل شیب رودخانه، جلوگیری از حفر کانال، که تهدیدی برای زیر ساخت ها مانند خطوط لوله است، استفاده نمود. علاوه بر این، با استفاده از ELJ ها به جای استفاده از اقدامات کنترل شیب قدیمی تر و جلوگیری از اثرات زیان بار بالقوه، متدهای قدیمی می توان شرایط کنترلی و محافظتی مورد نیاز را تامین نمود.

ساختارهای ELJ را می توان با چهار دستگه گسترده با عملکرد شبیه طبقه بندی نمود:

۱- ELJ های کنترل شیب.

۲- ELJ های افزایش دهنده (ازدیاد کننده) زیستگاه ها.

۳- ELJ های محافظت کننده سواحل و دیواره ها.

۴- ELJ های تثبیت کننده رسوبات.

نوع ELJ انتخابی برای یک پروژه خاص بستگی به هدف طراحی، شرایط ریخت شناسی موضعی، رژیم جریان، الزامات زیستگاه ها و بودجه در دسترس دارد. به طور مثال اهداف پروژه های ELJ در اسکاتلند شامل افزایش و یا ایجاد زیستگاه ها، حفاظت از سواحل وزیر ساخت ها، حفاظت در برابر سیل، بهسازی و نگهداری و کنترل شیب بستر رودخانه می باشد، که با توجه به کمبود چوب در دسترس در اسکاتلند به نظر اصلاح طرح ELJ در به حداکثر رساندن استفاده از مواد محلی و تکیه کمتر به چوب ضروری می باشد.

در ادامه، به تشریح انواع ساختارهای ELJ می پردازیم:

۱. ELJ های ازدیاد کننده زیستگاه ها:

ELJ ها می توانند به طور خاص برای افزایش زیستگاه ها و افزایش تنوع هیدرولیکی سیستم رودخانه ها و نهرها ساخته شوند. همانطور که در بالا مورد بحث قرار گرفت، افزایش چوب در یک سیستم رودخانه ای پوشش های اضافی و زیستگاههای با کیفیت بالا برای ماهیان فراهم می کند. (شکل ۲-۱۴)



شکل ۲-۱۴: نمونه ای از پوشش پیچیده و شرایط بستر و تنوع هیدرولیکی ایجاد شده توسط توده قطعات چوبی در رودخانه South Fork Hoh. (جریان از راست به چپ می باشد.)

ELJ های ازدیاد کننده زیستگاه ها می توانند در سطح مختلف پیچیدگی طراحی شده و می توانند در طیف گسترده ای از جریان با شرایط متنوع عمل کنند. سازه های ساده را می توان با اضافه کردن یک یا چند قطعه چوب به سیستم با انتظار این که ساختار ممکن است در جریان های آشفته دچار تغییر شکل شود ایجاد نمود.

پیچیدگی و پایداری بیشتر زیستگاه ها با طراحی ELJ ها تا رسیدن به سطح مطلوب پایداری (مقاومت در برابر به عنوان مثال سیل ۱۰۰-۵۰ و یا ۲۰۰ ساله و یا بالاتر) و با افزایش متناسب در هزینه، قابل افزایش است. ELJ ها می توانند برای فراهم کردن زیستگاه های محلی با اثرات جزئی در کانالهای مورد استفاده قرار گیرند. کاربرد ELJ ها می توانند به طور قابل توجهی سیستم رودخانه را تغییر دهند، برای



مثال، ELJ های ازدیاد کننده زیستگاه ها می توانند یک کانال همگن ساده را به یک یا چند کانال با تنوع و تراکم بیشتر واحدهای زیستگاه ها تبدیل کنند (شکل ۲-۱۶ و ۲-۱۵).



Photo by Mike McHenry.



Photo by Tim Abbe.

شکل ۲-۱۵: ELJ های تثبیت کننده رسوب در رودخانه lower Elwha. (به پایین دست توجه کنید). شرایط موجود قبل از ساخت ELJ در سال ۲۰۰۲ (a) یک سال بعد از ساخت در سال ۲۰۰۳، تغییرات از یک بستر مسطح به مورفولوژی دارای گوداب و ناحیه جداشدگی و افزایش تعداد زیستگاه ها از یک واحد به پنج واحد در کانال نمایش داده شده است.



Photo by Mike McHenry.

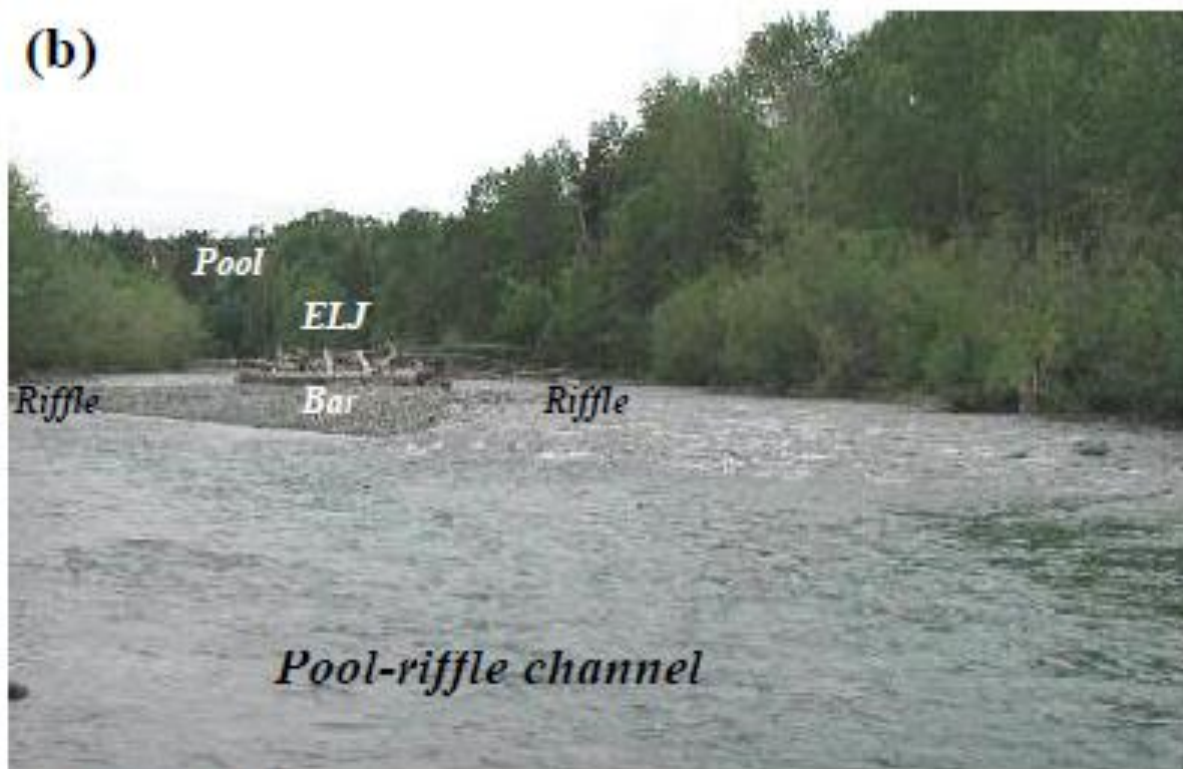


Photo by Tim Abbe.

شکل ۲-۱۶: همان بخش رودخانه lower Elwha (به بالادست توجه کنید.) (a) قبل از ساخت ELJ در سال ۲۰۰۲ (b) دو سال بعد از ساخت در سال ۲۰۰۴، نمایانگر افزایش پیچیدگی کانال و تنوع زیستگاه بعد از ساخت ELJ.

## ۲. ELJ های محافظت کننده سواحل و دیوارهای رودخانه:

ELJ ها می توانند به عنوان جایگزینی برای روشها و اقدامات سنتی محافظت از سواحل مانند پوشش های سنگی و آب شکن باشند. در شرایط مناسب، ELJ ها می توانند محافظت از جاده ها را عهده دار شوند و پتانسیل قابل توجهی در بهبود موجودات کرانه زی (سواحل زی) و آبزیان دارند (شکل ۲-۱۷). هدف محافظت از سواحل توسط ELJ ها محافظت از بخشی از ساحل رودخانه است که در برابر فرسایش آسیب پذیر بوده که با خنثی کردن (مستهلك کردن) برخی از انرژیهای جریان رودخانه و یا منحرف کردن جریان به دور از یک ساحل در معرض خطر عملی می شود. ELJ های محافظت کننده سواحل می توانند به عنوان دماغه های منحرف کننده جریان و یا به عنوان یک پوشش مستمر در جریان قرار گیرند.



شکل ۲-۱۷: نمونه ای از ELJ های محافظت کننده دیواره ها و سواحل در طول رودخانه Cispus.

### ۳. ELJ های تثبیت کننده ی رسوبات:

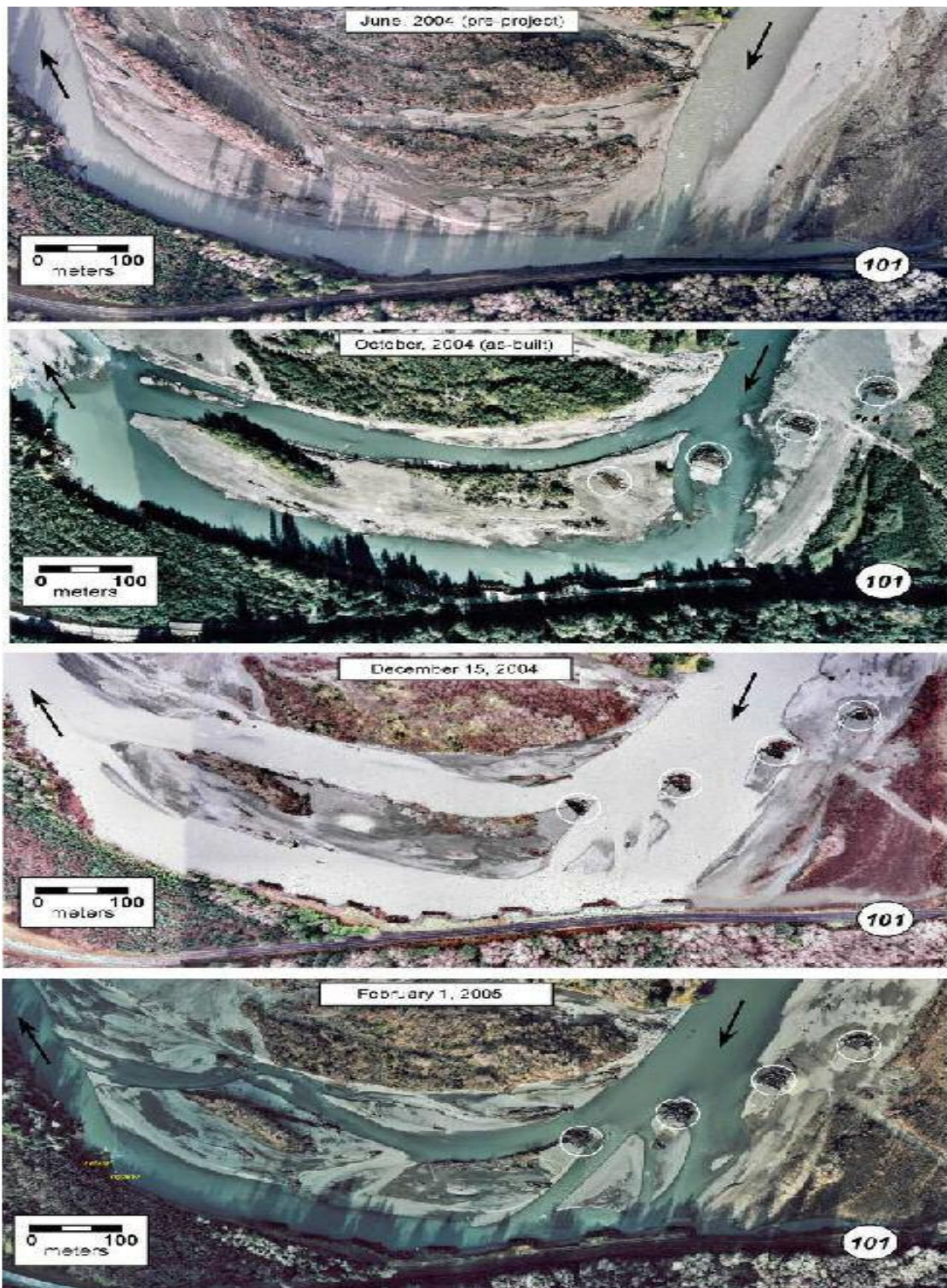
ELJ های تثبیت کننده ی رسوبات تمایل دارند که جریان را به دو شاخه به سمت کناره های سازه تقسیم کنند. بنابراین معمولاً در وسط (میانه) کانال ساخته می شوند (Abbe and Hontgomery 1996). این سازه ها را می توان جهت تاثیر بر پلان قوسی و راستای رودخانه و کانال، مستهلک کردن انرژی، افزایش میزان (تعداد) و کیفیت زیستگاه های آبزیان با افزایش طول کانال، عمق تلاطم گودابه ها و پوشش های کانال، به دام انداختن چوب های شناور، افزایش ارتباط (اتصال) با دشت های سیلابی به کار برد. هندسه ELJ تثبیت کننده رسوبات معمولاً به نحوی است که یک یا دو عضو اصلی یا تنه های بزرگ با ریشه هایی به سمت بالادست جریان بوده و قطعات چوبی شناور را به دام می اندازند (شکل ۲-۱۸). ELJ های تثبیت کننده رسوبات دقیقاً در خارج رودخانه است، با ده ها یا صدها الوار نگهدارنده مونتاژ شده و پس از جایگذاری در رودخانه یک هسته تدقیق شده که آن را به عمق بستر رودخانه متصل کرده است نیز به این مجموعه اضافه می گردد. فواید و مزایای زیستگاه های ایجاد شده توسط ELJ های تثبیت کننده رسوبات زمانی که جریان از همه طرف در تعامل با سازه است زیاد می باشد (سازه در وسط جریان است) که معمولاً نتیجه آن گسترش و ایجاد یک چاله آبستگی هلالی شکل در اطراف و بالادست و شکل گیری یک مانع در بالادست و پایین دست ELJ ها می باشد. نقشه مهندسی یک نمونه ساده از ELJ های تثبیت کننده رسوبات ارائه شده است (south fork Nooksack River & white River projeat). تاثیرات ELJ های تثبیت کننده رسوبات را می توان در عکس های هوایی پروژه ی رودخانه Hoh در هدایت جریان رودخانه به دور از بزرگراه که در آن سازه قابل تشخیص است مشاهده نمود. چهار Eljs در رودخانه Hoh به طور موفقیت آمیزی خطر بزرگراه (۱۰۱) آمریکا را با انحراف جریان به سمت یک تندآب منقطع و مستهلک کردن انرژی جریان قبل از رسیدن به بزرگراه کاهش داده است و این در حالی است که گودابه ها و پوشش برای ماهیان افزایش یافته است (شکل ۲-۱۹).



شکل ۲-۱۸a: نمونه ای از ELJ تثبیت کننده رسوبات طبیعی رودخانه Cispus.



شکل ۲-۱۸b: نمونه ای از ELJ های تثبیت کننده رسوبات ساخته شده در سپتامبر ۲۰۰۴ در رودخانه Hoh، شرایط بعد از دو جریان حداکثری به ارتفاع تقریبی ۸۵۰ سانتیمتر در مارچ ۲۰۰۵ نمایش داده شده است.

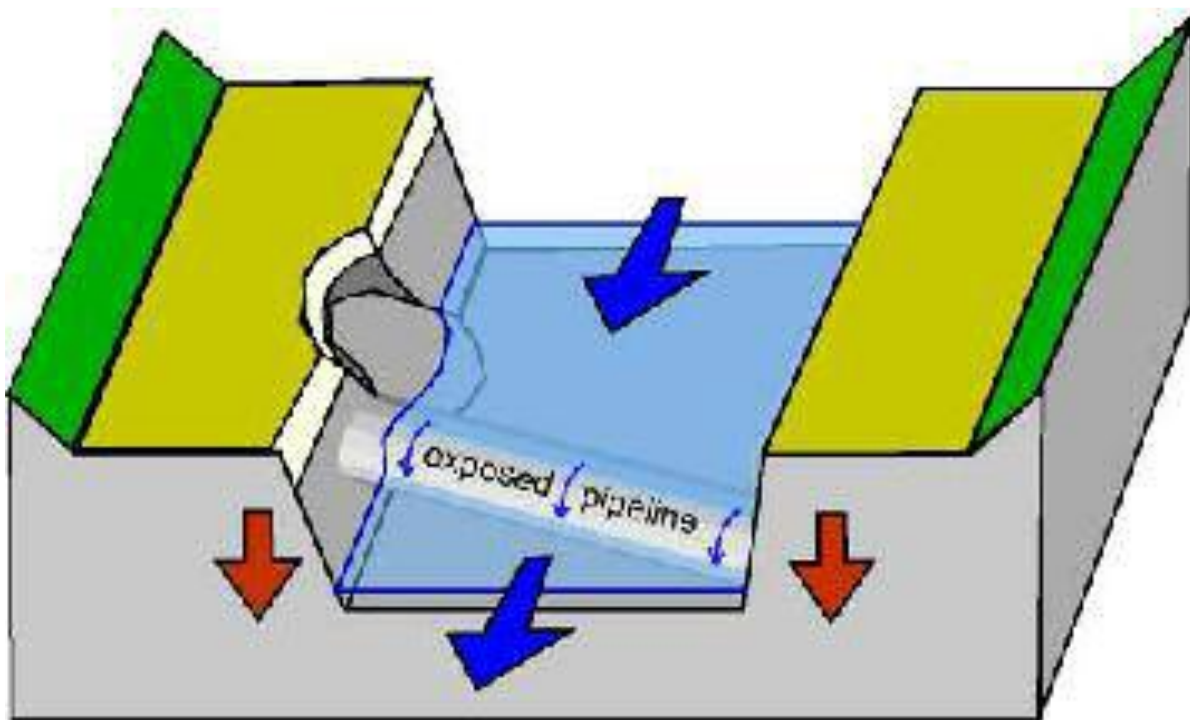


شکل ۲-۱۹: تغییرات ناشی از پاسخ کانال به ساخت شش عدد ساختار ELJ محافظت کننده دیواره و چهار ساختار ELJ تثبیت کننده رسوبات در رودخانه Hoh در سال ۲۰۰۴. ساختارهای تثبیت کننده رسوبات در بالادست بزرگراه در معرض تهدید ساخته شده است تا جریان را منحرف کرده و با چند شاخه کردن جریان تلاش بر پراکندگی جریان دارد، همچنین در خصوص ساختارهای محافظت کننده دیواره ها ایجاد پوشش واسط سختی در طول بزرگراه می باشد.

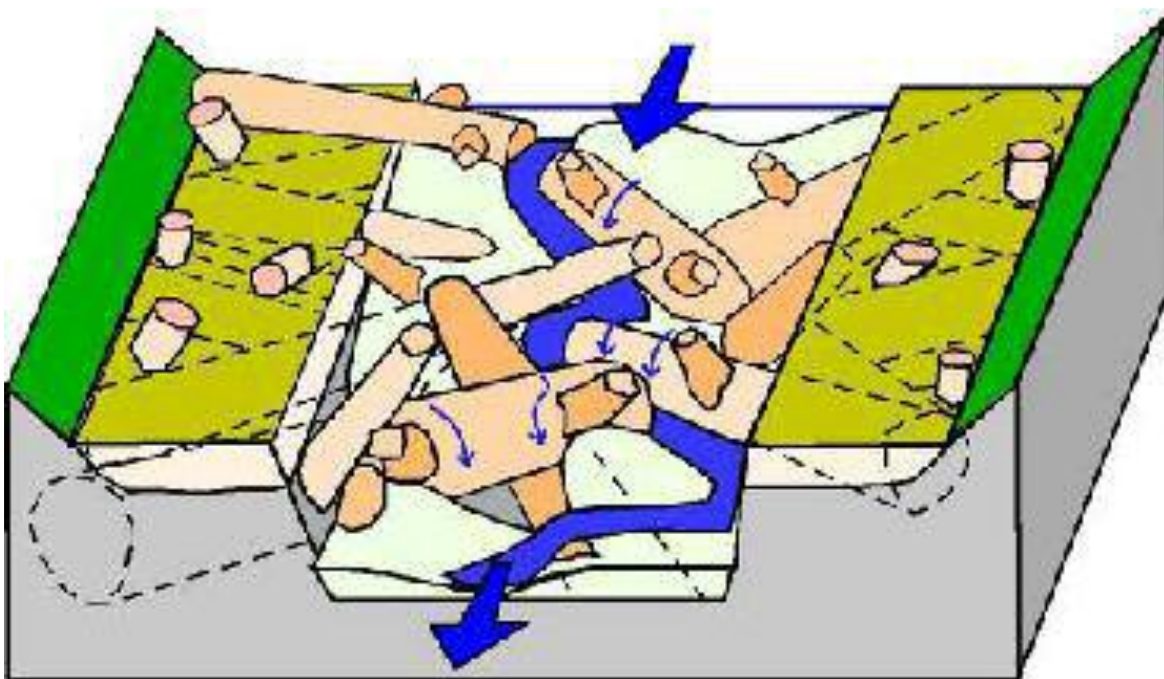
۴. ELJ های کنترلی کننده شیب:

ELJ های کنترلی کننده شیب طراحی شده اند تا از فرسایش و حفر کانال با کنترل کردن و حفظ (نگه داشتن) رسوبات، کاهش انرژی جریان، افزایش ارتفاع آب به جهت اتصال به زیستگاه های دشت های سیلابی و سرشکن کردن قله (اوج) موج سیلاب پایین دست جلوگیری کنند. ELJ های کنترلی کننده شیب از زیر ساخت هایی که در معرض حفر کانال هستند محافظت کرده و هم چنین سواحلی که جریان از روی آنها سرازیر می شود را تثبیت می کنند. بر خلاف سازه های کنترلی جریان و بندهای قدیمی، یک ELJ کنترلی کننده شیب، یک سازه پیچیده گسترده تاج دار که انرژی را بسیار بیشتر مستهلک می کند و کانال های کم فشار را برای عبور ماهیان حفظ می کند، می باشد (شکل های ۲-۲۰ و ۲۱).

مشابه دیگر سازه های کنترلی کننده شیب، ELJ ها در بالا دست منجر به رسوب گذاری، آبرفت گذاری در بستر رودخانه و همچنین در پایین دست چاله های آبستگی می شوند (شکل ۲-۲۲). در صورت عدم کنترل طبیعی شیب کانال ساده تر و در نتیجه تخریب می شود (شکل ۲-۲۳). همانند همه سازه های کنترلی شیب، سازه های ELJ بایستی به طور دقیق به ساحل متصل شوند تا این که از شیب رودخانه یا کانال محافظت کنند، حتی اگر کانال در اطراف سازه قطع شده باشد. ساختارهای ELJ بایستی شامل اجزایی برای جلوگیری از جابجایی در اثر جریان های جانبی اطراف سازه باشند. در سیستم های محصور نشده با دشت های سیلابی و کانال های جانبی، سازه های ELJ نه تنها به جهت افزایش کمیت و کیفیت زیستگاه های آبی به کار نمی روند (برای مثال تلاطم ناشی از طغیان کانالهای جانبی) بلکه نقطه پیک هیدروگراف سیل را با استفاده از افزایش تلاطم حاشیه رودخانه کاهش داده و مستهلک می کنند.



شکل ۲-۲۰: کانال های کف سنگی منجر به از دست رفتن ارزشهای زیست محیطی، تقویت اثرات جریان پایین دست شده و می تواند تهدیدی برای زیرساخت ها از جمله لوله های مدفون در بستر و شمع ها و پایه های پل و خاکریز جاده ها باشد.



شکل ۲-۲۱: عملکرد کانال های کف سنگی با ساختارهای چوبی پیچیده کنترل شیب می تواند منجر به بازسازی زیستگاه های آبریزان، اتصال دشت های سیلابی، مستهلک و پراکنده کردن موج جریان و محافظت از زیرساخت ها شود.





شکل ۲-۲۲: نمونه ای از ساختارهای ELJ طبیعی که کنترل کننده شیب جریان و افزایش دهنده کمیت و کیفیت زیستگاههای ماهیان قزل آلا است. a) رودخانه Sygitowicz Creek b) رودخانه Rickreall Creek



شکل ۲-۲۳: نمونه ای از نه‌های ساده شده بر اثر هدایت جریان: Rickreall Creek b) , SygitowiczCreek a)

## ۴-۴-۲ فرآیند طراحی ELJ ها:

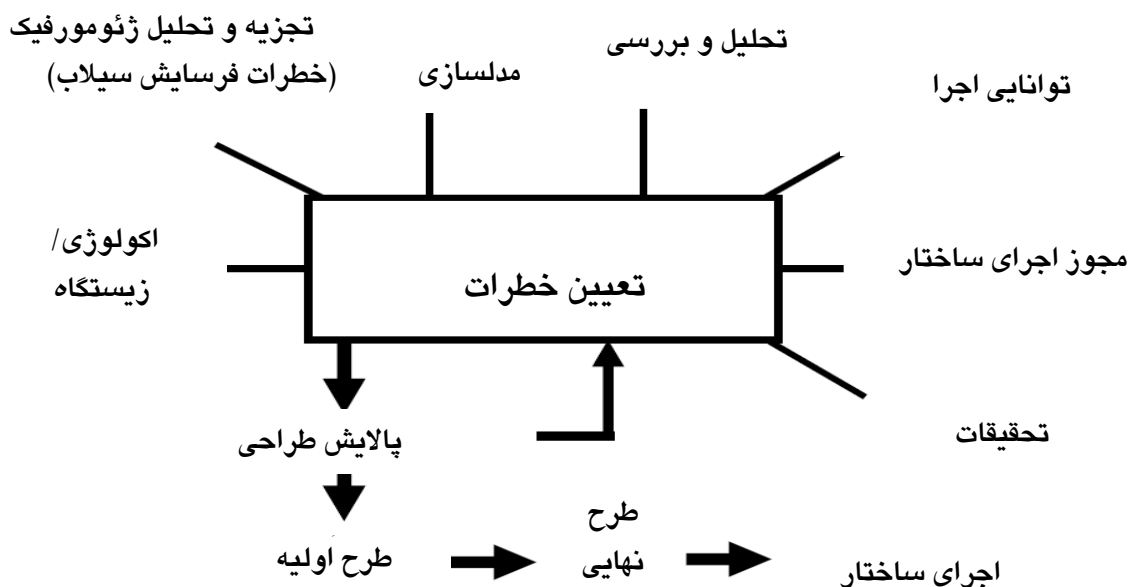
فرآیند طراحی مورد استفاده برای سازه های ELJ مشابه دیگر فرآیند های مورد استفاده در زیر ساخت های قدیمی به دنبال رسیدن به یک چارچوب رسمی طراحی مهندسی می باشند. فرآیند طراحی شامل تضمین رسمی کیفیت و برنامه کنترل کیفیت، رسیدن به یک تجزیه و تحلیل، جمع آوری داده ها، صحت سنجی، ایجاد یک پایه و اساس طراحی، مدلسازی، تکرار و گسترش طراحی ها همراه با ارزیابی ریسک، استخراج روابط، تعیین و ارائه آئین نامه و قوانین طراحی می باشد. جهت ارائه یک تجزیه و تحلیل نیاز ضروری به اطلاعات عقبه و شرایط اخیر پروژه شامل ژئومتری و هندسه کانال و بستر، هیدرولوژی منطقه، هیدرولیک و اختلالات جریان می باشد.

ارزیابی ریسک می تواند برای پروژه هایی که دارای خطر جانی و مالی نیست و همچنین خطری برای زیر ساخت ها ندارد نسبتاً خلاصه و کوتاه باشد و در پروژه هایی که پتانسیل خطر در آنها وجود دارد بسیار بحرانی و ضروری است. ارزیابی خطر شامل تمام جنبه های پروژه جهت ارزیابی خطرات مرتبط با هدفی که می خواهیم به آن برسیم با توجه به محدودیت های پروژه است (شکل ۲-۲۴). از نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل (از جمله تجزیه و تحلیل ژئومورفولوژی و بررسی داده های میدانی) جهت تغییر خطرات استفاده می گردد. توضیحاتی در خصوص دینامیک کانال و تاریخچه وقوع سیل (دوره بازگشت وقوع سیل) برای مستند سازی شرایط و خطرات موجود در محل سایت جهت رسیدن به تجزیه و تحلیل مناسب ضروری است. اگر نتایج حاصله از ارزیابی ریسک نشان دهد که طرح فرضی اولیه در محدوده قابل قبولی از خطر پذیری قرار دارد و ما را به اهداف پروژه می رساند، وارد فاز جدیدی از تجزیه و تحلیل یعنی آنالیز هیدرولیکی و آبستگی می شویم. مدل سازی هیدرولیکی برای ارزیابی رژیم جریان در شرایط فعلی و هم چنین تحت سناریوهای احتمالی طرح صورت می گیرد. مدل سازی و آنالیز آبستگی یک فرآیند تکرار شونده است که اجازه می دهد در تعداد و محل سازه پیشنهادی تغییراتی داشته باشیم. طرح ها جهت رسیدن به اهداف پروژه اصلاح شده تا این که خطرات مرتبط با طرح به حداقل برسد.

زمانی که نتایج حاصل از ابزار تحلیلی نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی به اهداف پروژه با سطح قابل قبولی از خطر پذیری دست یافته متقاضیان شروع به بررسی طرح اولیه می‌کنند. در مسیر انجام آنالیز، تغییر شرایط فیزیکی مرزی رودخانه و تعیین ارتباط شرایط مرزی با فرایندهای رودخانه‌ای و زیستگاه‌ها، به عنوان پایه و اساس طراحی ELJ ها می‌باشد. آنالیزها بایستی در مقیاس‌های مکانی و زمانی صورت گیرد تا اینکه برای توصیف روابط مناسب باشند. جایگزین طرح پیشنهادی ارائه شده و امکان آنالیز فراهم می‌گردد تا بتوان مقایسه‌ای از لحاظ فواید زیستگاهی، هزینه و ریسک اولیه مرتبط با دستیابی به اهداف پروژه میان طرح‌های جایگزینی صورت گیرد.

## ۲-۴-۵ دستیابی به اصول طراحی:

قبل از اقدام به طراحی ELJ ها، شایسته است به درکی از شرایط مرزی و همچنین ارتباط آن شرایط مرزی با فرایندهای رودخانه‌ای، آشفتگی کانال و زیستگاه‌ها برسیم. با این وجود بایستی ساختارهای ELJ را جهت دستیابی به اهداف مورد نظر و مطلوب، با فرایندهای طبیعی و حتی کاهش میزان خطرات مالی متوجه زیر ساخت‌ها، تطبیق دهیم. در مسیر انجام آنالیز، مناطق دارای محدودیت‌های فیزیکی، مشخص و نشانه‌گذاری شده تا این که بتوان در این مناطق از طرح‌های جایگزین استفاده



شکل ۲-۲۴: فرآیند تدریجی طراحی ساختارهای ELJ

نمود. برای مثال محدوده هایی در منطقه جابجایی کانال می باشد که در آن تنها کانال های ثانویه مقبول هستند و یا در محدوده هایی که می توانند در برابر طغیان رودخانه طاقت بیاورند، اما هیچ کانالی وجود ندارد.

تجزیه و تحلیل کردن شرایط سایت پروژه وابسته به الگوهای اختلال در حوضه است برای مثال، جنگلداری صنعتی می تواند به طور قابل توجهی باعث افزایش رسوب در سیستم رودخانه شود. (Kelsey 1997a, 1997b, stoH 1980). این موضوع به نوبه ی خود در رسوب گذاری (storer and Montgomery 2001) و در بافت ریز دانه ها (دانه بندی) کانال موثر است. (Buffington and Montgomery 199b). حذف قطعات چوبی به جای مانده درون جریان و جنگل های مجاور رودخانه امکان دارد تلاطم و شدت اوج جریان را که منجر به تغییرات قابل توجهی در ریخت شناسی رودخانه از جمله آبستگی کانال می گردد را افزایش دهد (Brooks & Brierly 1997). چشمگیرترین تاثیر افزایش تلاطم و شدت اوج جریان بر سرعت آبستگی حوضه می باشد چرا که این نوع اختلالات حوضه در نهایت تحت تاثیر شرایط بنیادی پروژه قرار خواهد گرفت و باید در استراتژی های طراحی به حساب آورده شوند.

## ۲-۵ عوامل مؤثر در طرح حفاظت و تثبیت دیواره های رودخانه:

شواهد نشان می دهد روش ها و سازه هایی که به طور موضعی و بدون توجه به ضوابط و اصول راهنمای طرح اصلاح مسیر و تثبیت دیواره ها بکار رفته اند، عموماً آسیب پذیر بوده و خیلی سریع تأثیر خود را از دست می دهند. موفقیت این گونه طرح ها بستگی به رعایت دو اصل مهم دارد: ابتدا آنکه در انتخاب راستای رودخانه، سعی شود از یک الگوی کلی در یک بازه طولانی تر تبعیت شود و دوم آنکه خصوصیات ماریپچی، شیب، ابعاد هندسی مقاطع و بیلان دبی و رسوب رودخانه در طول بازه اصلاح شده و تغییر قابل ملاحظه ای نداشته باشد. به منظور حفاظت و تثبیت دیواره های رودخانه عوامل مؤثر ذیل باید در طراحی مد نظر قرار گیرند:

• راستای رودخانه:

تنظیم راستا و امتداد دیواره ها نسبت به یک محور مناسب ضروری می باشد. در این صورت رودخانه در مسیری متشکل از یک سری پیچ های ملایم و معکوس با انحنای زیاد و صاف شکل داده شده، به طوری که خطوط جریان به سهولت و بدون توسعه جریان ثانویه و گردابی از یک پیچ به پیچ پایین دست هدایت گردد. (Peterson, 1986, Klingeman and Bradley, 1976)

درانتخاب راستای رودخانه، گاهی شرایط محدود کننده ای نظیر راه، کانال و... وجود دارد که به ناچار حریم راه و کانال، یک مرز کنترل در طراحی مسیر خواهد بود. موقعیت خاص روستا، اراضی کشاورزی، باغات و یا دیگر تأسیسات را نیز از دیگر عوامل کنترل باید دانست.

• انحنای رودخانه:

به طور کلی شعاع انحنای باید در حد متوسط شعاع انحنای در پیچ های مختلف و پایدار رودخانه باشد. زیرا هرچه پیچ تندتر باشد، عمق دیواره خارجی افزایش یافته و امکان تخریب سازه های حفاظتی بیشتر می شود. از جنبه اقتصادی نیز رابطه میان شعاع انحنای با عمق ماکزیمم دیواره خارجی، براساس هزینه ساخت و نگهداری سازه های حفاظتی بررسی شده و شعاع انحنای بهینه محاسبه می شود. طرح پیچ های تند، تنها در شرایط خاص نظیر حضور جاده، کانال و یا شرایط پایدار دیواره و بستر مجاز بوده و در این صورت نیز اقدامات حفاظتی بیشتری مورد نیاز خواهد بود، از طرف دیگر شعاع انحنای خیلی زیاد نیز مطلوب نمی باشد. ماکزیمم شعاع انحنای برای رودخانه های نیمه کوهستانی و بالادست حوزه ۴۸۰۰ متر و برای رودخانه های سیلابی دشتی، ۷۲۰۰ متر پیشنهاد شده است. به منظور کشتی رانی نیز حداقل شعاع انحنای ۲۵۰۰ متر توصیه شده است (Peterson, 1986). بررسی های انجام شده نشان می دهد که شعاع انحنای پیچ (r) ضریبی از عرض رودخانه (w) است. Leopold and Wolman در ۱۹۵۷ گزارش کردند که نسبت  $r/w$  رودخانه ها عموماً بین ۱٫۵ تا ۳٫۴ است و گرچه این نسبت از ۱٫۵ تا ۱۰ نیز مشاهده می شود، ولی تمایل طبیعی اکثر رودخانه ها دست یابی به نسبت  $(r/w)^2 - 3 = r/w$  است و متوسط  $r/w$

برای شرایط تعادل رودخانه حدود ۳ توصیه شده است (Chang, 1985, 1986). حداقل بین دو پیچ متوالی نباید به حدی باشد که یک بازه مستقیم و طولانی ایجاد گردد. طول مطلوب در این قسمت در حدود ۲ تا ۴ برابر عرض آن پیشنهاد شده است. بر این اساس طول موج مارپیچ رودخانه ( $\lambda$ ) حدود ۷ تا ۱۱ برابر عرض مقطع پر رودخانه ( $w$ ) مناسب تشخیص داده شده است (Henderson, 1966). بررسی مطالعات انجام شده نشان می دهد که برای حصول شرایط مذکور حداقل زاویه پیچ ( $\theta$ )، باید در حد ۵۰ درجه باشد.

در مورد رودخانه های شریانی و بستر شنی که راستای طبیعی نسبتاً مستقیمی دارند حفاظت کناره ها در دو سمت رودخانه همراه با بهسازی و پاکسازی بستر انجام می گیرد. در حالیکه در رودخانه های مارپیچی سازه های اصلی حفاظتی عموماً تنها در محدوده دیواره خارجی پیچ به کار رفته و در دیواره داخلی و نیز مسیر مستقیم حد فاصل پیچ ها اقدامات ضعیف تری مورد نیاز است (Shen 1984).

## ۲-۶ مدل سازی:

آنالیز هیدرولیکی جهت تعیین اجزا و مولفه های لازم جهت طراحی پروژه فرضی انجام می شود. آنالیز هیدرولیکی شامل سیر تکاملی مدل هیدرولیکی پروژه جهت دستیابی و ارائه تاثیرات سازه ELJ فرضی بر سرعت، ارتفاع سطح آب، تنش برشی بستر، پتانسیل تغییر شکل بستر می باشد. در مواردی که با خطر کم و بودجه محدود مواجه هستیم، محاسبات هیدرولیکی تحلیلی را می توان بیشتر به جای مدل سازی های عددی پیچیده بکار برد. برای تعیین شرایط هیدرولیکی سایت به یک نقشه توپوگرافی با وضوح بالا نیاز است تا بتوان هندسه کانال را ایجاد و شرایط مرزی را برای مدل سازی تعریف نمود.

جهت مدل سازی یک بعدی معمولاً از برنامه های مهندسی ارتش ایالات متحده همچون Hec-RAS و Geo-RAS استفاده می شود. هر چند که مدل های هیدرودینامیکی پیچیده تر دو و سه بعدی، همچون مدل سازی المان (اجرا) محدود سطح آب (FESWHS-2DH) در دسترس و موجود است، مورد کاربرد

آنها وابسته به مقیاس، هزینه و ضریب اطمینان مورد نیاز پروژه است. Hec-Geo Ras معمولاً در محیط سیستم های اطلاعات جغرافیایی (Gis) استفاده می شوند. جهت استخراج تقاطع عرضی از نقشه های دیجیتال، که پس از آن با مقاطع مساحی شده کانال اصلی (نقشه برداری شده) متناسب می گردد، استفاده می شود. این اطلاعات در جهت سیر تکاملی شرایط موجود مدل که برای ایجاد خط مبنای پروژه مناسب است، استفاده می گردد.

در مرحله مدل سازی بایستی به ارزیابی اثرات تغییرات ناگهانی در پایین دست و بالا دست برای پیش بینی اثرات مردابی پرداخته شود. مدل با استفاده از هر کدام از اطلاعات که از گذشته در خصوص جریان در دسترس است کالیبره و یا حداقل تنظیم می شود تا نتایج منطقی از اطلاعات جمع آوری شده به دست آید.

در مدلسازی معمولاً مجموعه ای از شرایط مرزی (پلان قوسی کانال، هندسه مقاطع عرضی و شیب کانال) فرض می گردد و چگونگی تغییر هیدرولیک و ارتفاع آب در اثر شرایط مرزی مختلف بررسی می گردد. بنابراین بایستی یک قضاوت حرفه ای دقیق برای ارزیابی نحوه تاثیر تغییرات در پلان قوسی کانال، هندسه مقاطع عرضی و شیب کانال در طول زمان بر روی نتایج مدلسازی صورت می گیرد. در طول سیر تکاملی طراحی، مدل با شرایط موجود اصلاح می شود تا اینکه شبیه سازی بر روی سازه ELJ فرضی صورت پذیرد و بتوان تاثیرات هیدرولیکی ناشی از طراحی را تعیین نمود. نتایج مدل شبیه سازی شده به طور سریع تاثیرات هیدرولیکی ناشی از طراحی ELJ مفروض را پیش بینی می کند. این نتایج جهت تعیین دقیق موقعیت و جهت گیری ساختار ELJ استفاده می شود. براساس هزینه ارزیابی خطر در مورد تغییرات دراز مدت در مورفولوژی کانال، انتقال رسوب، و ساختار ELJ به ویژه اثر شناوری مصالح بستر (ناشی از جابجایی توده های ذرات رسوبی)، مدل اصلاح می شود تا تغییرات آتی در پلان قوسی کانال که به احتمال زیاد در جهت گسترش و تعیین عملکرد و بازدهی پروژه می باشد تخمین زده شود. مدل هیدرودینامیکی دو بعدی (مانند FESWMS-2DH) برای مسیرهای دست کاری شده



جریان وهیدرولیک های موضعی که عامل فرسایش محسوب می شوند، پیش بینی را آسان تر و بهتر می کنند. مدل دو بعدی به عنوان یک ابزار پیش بینی برای ارزیابی تغییرات مکانی و چگونگی پاسخ جریان به قرار گیری مانعی بر سر راه جریان همچون ساختارهای ELJ به خدمت گرفته می شود (شکل ۲-۲۵).

## ۲-۷ آرایش طبیعی و ساختارهای ELJ:

نوع متمایز از ELJ و یا تجمعی از بقایای چوبی مستغرق در جریان، در نقاط مختلف یک شبکه کانال در نظر گرفته شده (Abbe et al 1993)، با توجه به مشاهدات صورت گرفته در حوضه رودخانه Quest در شبه جزیره المپیک در واشنگتن، انواع متمایزی از الوار چوبی بر طبق وجود یا عدم وجود اعضای اصلی، منشا و مکانیزم به کار بردن اعضای اصلی، آرایش الوار چوبی، اثرات ژئومورفیک الوار چوبی و الگوهای پوشش گیاهی (Abbe et al 1993) طبقه بندی شده اند. در شکل ۲-۲۶، شش عدد از انواع این الوارهای چوبی طبیعی نمایش داده شده اند، که به جهت کنترل شیب و یا دستکاری جریان می باشند.

انواع الوار چوبی در درجه اول برای کنترل شیب شامل الوار پلکانی و چوب های شیاردار، انواع دیگر جهت دستکاری جریان شامل انحراف جریان، تثبیت کننده رسوبات، ایجاد گردش و گردابه در جریان، ایجاد سکوی لبریز شدن جریان قابل استفاده هستند.

## ۲-۸ سیر تکامل طراحی:

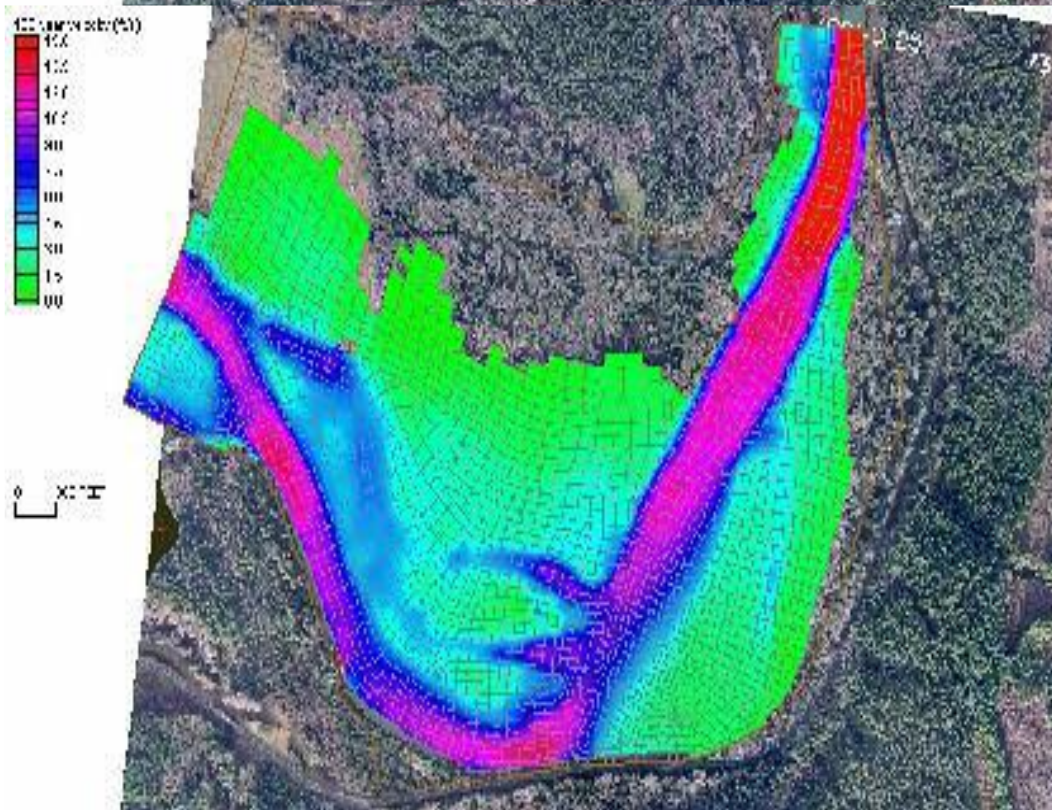
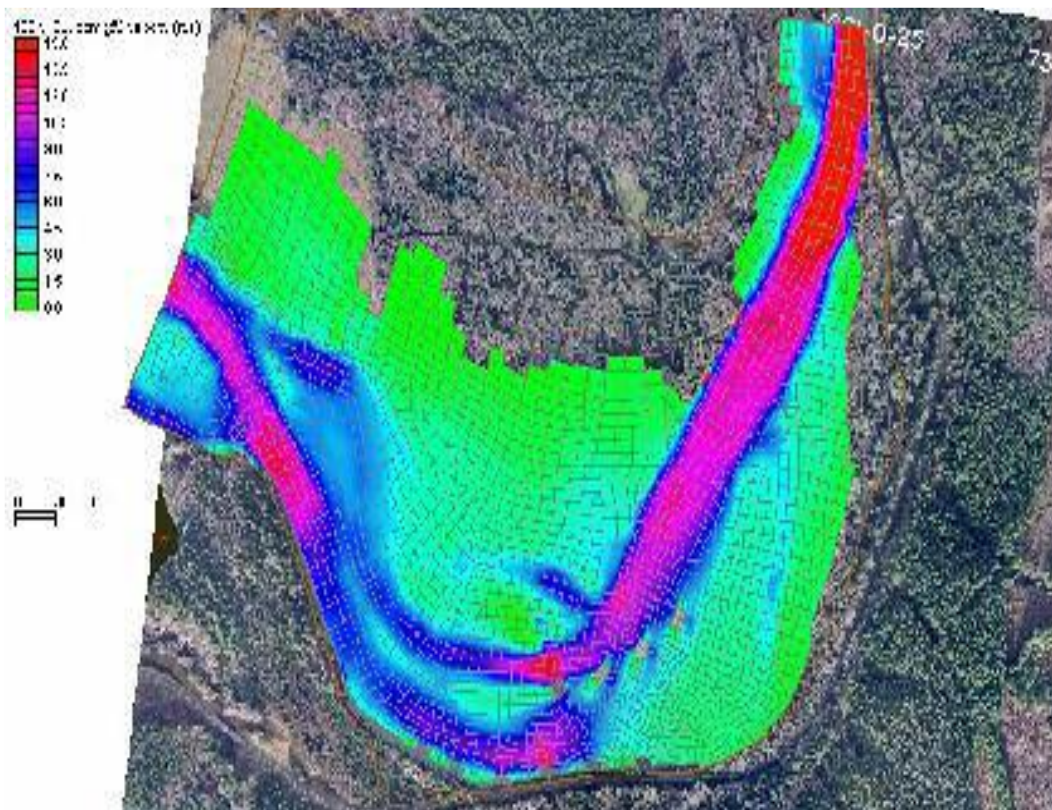
پس از رسیدن به درک کاملی از حوضه و پروژه موجود، یک تعریف روشن از فرصت ها و محدودیت های پروژه و انتخاب مکمل مناسب طبیعی، می توان به طراحی مهندسی پرداخت (شکل ۲-۲۷). طراحی با تعریف طرحی مفروض براساس اهداف عملکرد پروژه شروع می شود.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل اولیه ژئومورفولوژی، ارزیابی خطر، مدل سازی هیدرولیکی، آنالیز آبشستگی با یکدیگر در طرح اولیه ترکیب می شود، تا بتوان تعداد سازه ها، آرایش سازه ها، زاویه قرار

گیری نسبت به جریان (میزان چرخش آنها) و پیش بینی پاسخ ها کانال را مشخص نمود. طرح نهایی شامل گزارشی از اساس و مبنای طراحی، طرح قرار دادی، مشخصات و ویژگی های و بر آورد مهندسی هزینه های احتمالی می باشد.

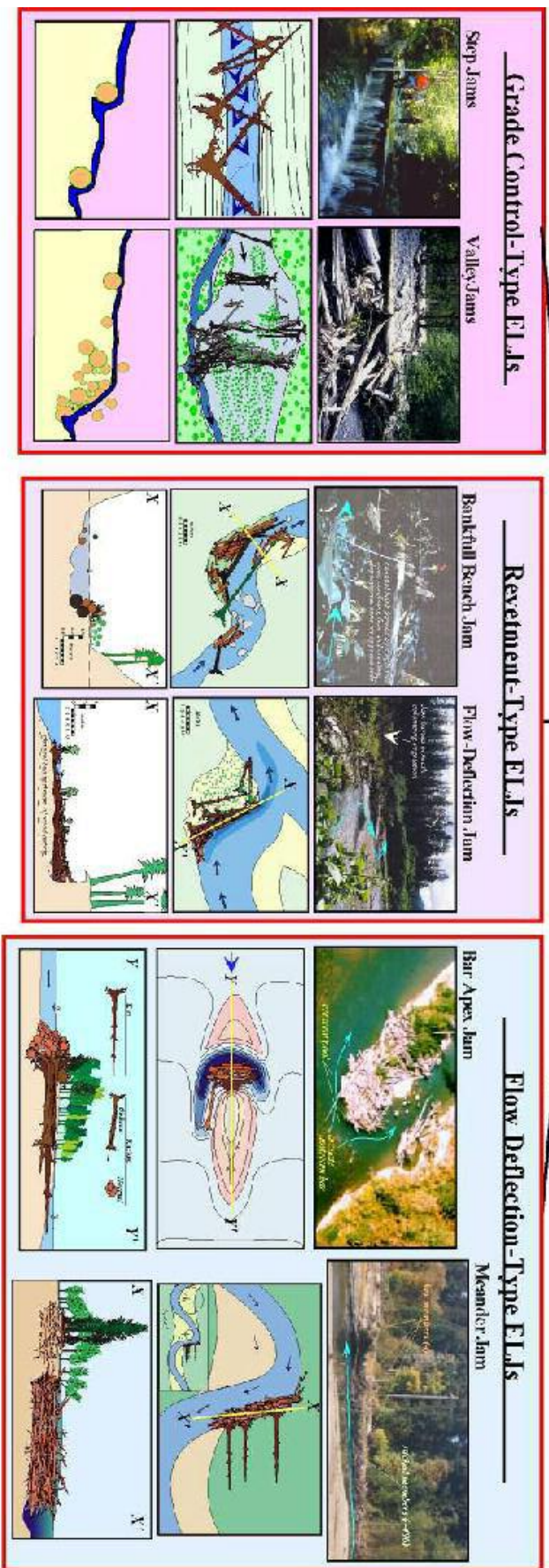
ابتدا یک پیش نویس از طرح جهت کسب مجوز (۶۰ درصد عملیات طراحی تا به اینجا کار می باشد) و پیکج طرح نهایی (۱۰۰ درصد عملیات طراحی تا به اینجا کار می باشد) برای ساخت تهیه می شود. در ۶۰ درصد پیش نویس طراحی از مدلسازی هیدرولیکی جهت تنظیم طرح و زاویه قرار گیری ساختار ELJ استفاده می گردد. خروجی های مدل هیدرولیکی برای طراحی ساختار ELJ و ارائه پارامترهای هیدرولیکی در گزارش اساس طراحی، استفاده می شود. گزارش اساس و پایه طراحی با استفاده از نتایج یادداشت های فنی، نتایج حاصل از مدلسازی، آنالیز آبشستگی و ارزیابی خطر است. این گزارش شامل محاسبات دقیق و آنالیز تعادل سازه (تعادل نیروها) می باشد.

پلان نهایی طرح شامل برنامه ای جهت کنترل فرسایش موقت و رسوبات، ترتیب ساخت، مسیر عبور، موقعیت ELJ طبقه بندی ساختار ELJ و مستقر کردن آن و همچنین جزئیات مقطع سازه می باشد.

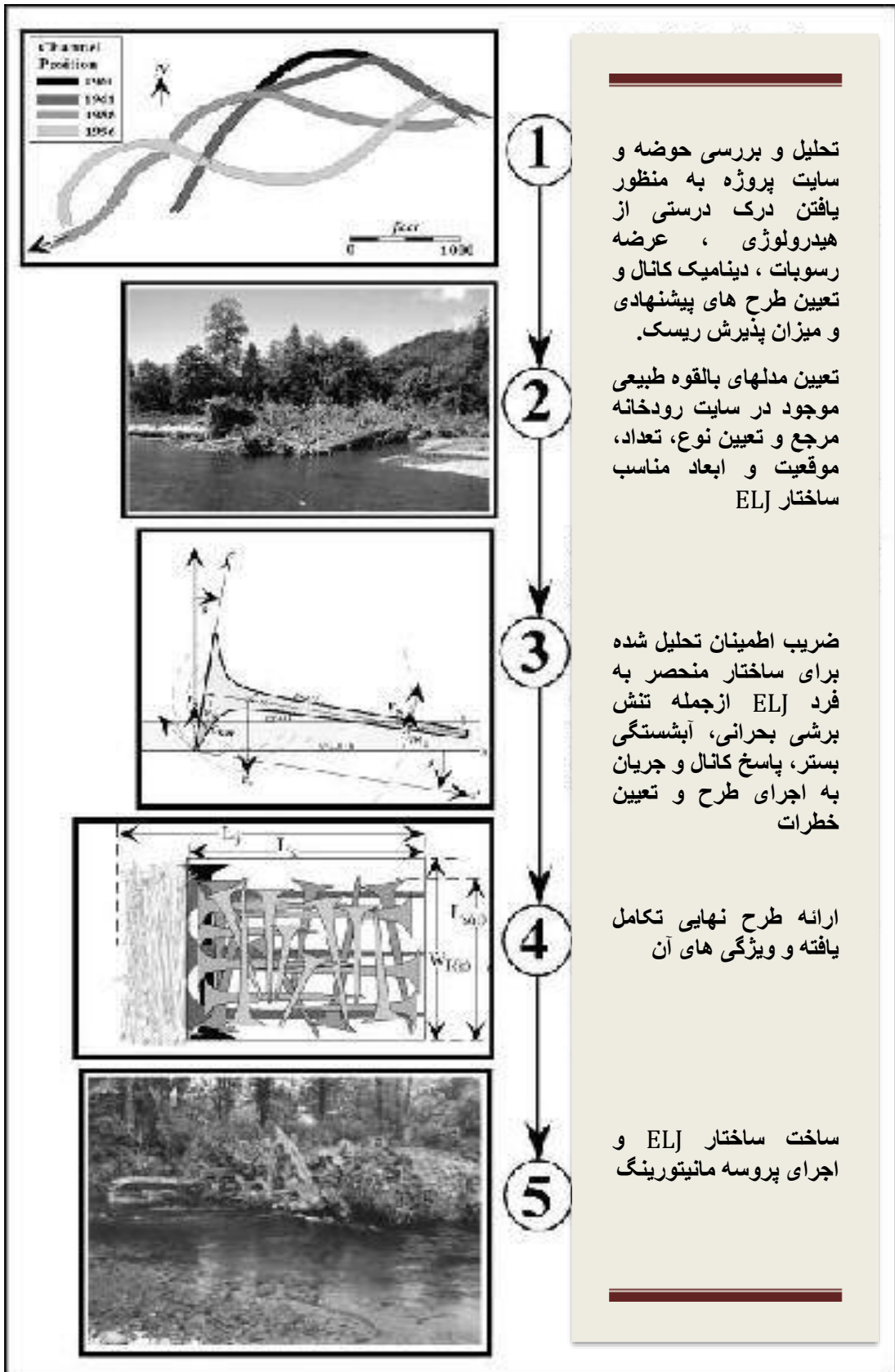


شکل ۲-۲۵: نمونه ای از خروجی مدلسازی هیدرودینامیکی دو بعدی (FESWM 2D) صورت گرفته در پروژه ELJ رودخانه Hoh. (a) شرایط موجود قبل از ساخت ELJ. (b) پیش بینی تغییرات پس از ساخت ELJ، نشان دهنده کاهش سرعت در طول مسیر رودخانه و افزایش پیچیدگی کانال می باشد.

## Natural Log Jam Analogs for Engineered Log Jam (ELJ) Types



شکل ۲-۲۶: الوارهای چوبی طبیعی کنترل کننده شیب و یا دستکاری کننده جریان.



شکل ۲-۲۷: فرآیند اصلی طراحی ساختار های ELJ.

## ۲-۹ آنالیز آب شستگی:

آب شستگی بستر کانال به احتمال زیاد رایج ترین مکانیزم عدم موفقیت سازه درون جریان است از جمله ELJ ها. نظارت و بازرسی ساخت ELJ ها نشان می دهد که طلایه دار و مهم ترین مسئول آسیب به ساختار و بزرگ ترین تهدید برای طول عمر سازه است. انجام آنالیز آب شستگی برای ارزیابی تعادل طولانی مدت ساختار ELJ مفروض که در یک کانال یا دشت سیلابی قرار داده می شود پیشنهاد می شود. آنالیز آب شستگی شامل متغیرهای زیر است:

هندس کانال، هیدرولیک، توزیع اندازه دانه های بستر (دانه بندی) و اندازه ساختارهای ELJ (معمولاً به عنوان درصدی از سطح مقطع عرضی کانال).

آنالیز آب شستگی برای بر آورد مجرای آب شستگی (در سواحل و کناره ها و ساختار های میان کانالی)، آب شستگی کناره ها (ساختار و سواحل) و آب شستگی موضعی پایه های پل (سازه های میان رودخانه ای) جهت ارائه سازه های درون رودخانه ای پیشنهادی صورت می گیرد.

چند معادله مختلف را می توان جهت تخمین آبشستگی در اثر طیف وسیعی از پارامترها به کار برد. علاوه بر آنالیز تحلیلی، یک آنالیز تجربی نیز جهت تعیین احتمالات صورت می گیرد و انتظار می رود عمق آبشستگی برای سازه پیشنهادی براساس سیل طرح در نظر گرفته شود (مثلاً سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله).

## ۲-۱۰ طراحی ساختار (سازه):

سازه های ELJ بایستی به نوعی طراحی شوند که در برابر شتاب جانبی (درگ) و نیروی بلند شدگی (uplift) یا نیروهای شناوری پایدار باشند. پارامترهایی که به عنوان داده های اولیه جهت محاسبه این نیروها استفاده می شوند عبارتند از:

ضریب درگ و بلند شدگی (بالابر)، سطح مقطع عرضی عمود بر جهت جریان در قسمتی که سازه وجود دارد، حجم چوب مصرفی در سازه، چگالی آب، جرم مخصوص آب، وزن مخصوص آب، سرعت جریان با توجه به بالا دست، تراز سطح آب.

ساختارهای ELJ در موقعیت های متنوع و مختلفی بکار برده می شوند و می توانند در طیف گسترده ای بارگذاری شوند و به وسیله ی استراتژی جهت گیری و درهم آمیختن اعضای سازه ای منحصر به فرد ساختار تدقیق می شود تا اجازه دهد مسیر بار تغییر کند. برای افزایش پایداری و ضریب اطمینان سازه ترکیب کردن شمع های فولادی یا چوبی متمایل یا عمودی با یکدیگر مناسب به نظر می رسد. بارها به عنوان یک بار نقطه ای رفتار کرده و در میانه (وسط) شمع اعمال می شود و شمع ها مانند تیرهای کنسولی رفتار می کنند. بارگذاری شمع ها شامل هد استاتیکی، هد سرعت و نیروی درگ است. زاویه نیروهایی که از رودخانه بر سازه اعمال می شود براساس منطقه انتقال (جابجایی) کانال و با توجه به شکل کانال در ادوار گذشته می باشد.

محاسبات براساس دو شرط مختلف انجام می شود:

۱- حداکثر میزان آبشستگی احتمالی در حوالی شمع های در معرض آبشستگی.

۲- پیش بینی آبشستگی یک سوم شمع های در معرض آبشستگی.

• هد استاتیکی: هد استاتیکی در محاسبات استفاده می گردد. فرض کنید آب در پشت سازه به میزان

ارتفاع سازه بالا آمده است که باعث ایجاد یک نیروی عظیم می شود (بنابراین باید ارتفاع سازه را با

ارتفاع آب ناشی از سیل برای مثال با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله مقایسه کنیم).

• هد سرعت: براساس مدل سازی هیدرولیکی به دست می آید و معمولاً از جریان سیلاب با دوره

بازگشت ۲۵ تا ۱۰۰ ساله استفاده می گردد.

• نیروی درگ: ناشی از برخورد جریان آب از بالا دست به سطح ELJ است.

• Lift (بلند کردن): نیروی لیفت شامل نیروهای رو به بالا است که برای الوارها زمانی که جریان رو گذری رخ می دهد، منحصر به فرد است. در طراحی ELJ هر المان سازه از جمله racked, stacked, key logs هم به صورت جداگانه وهم به صورت کلی با توجه به حالت شکست آنالیز می شوند.

## ۲-۱۱ سیر تکاملی طرح:

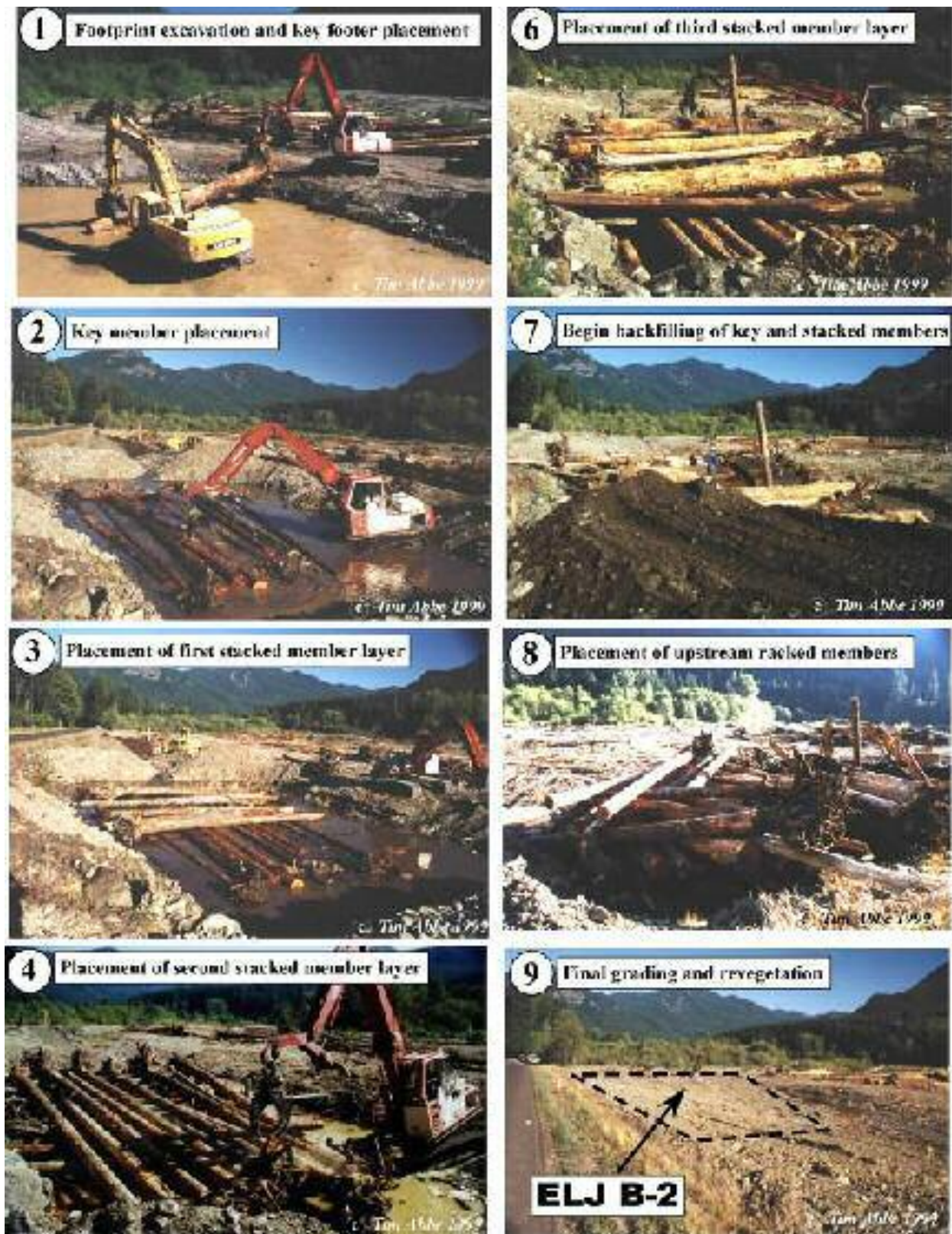
مسیر تکاملی طرح در راستای فرایند وپروسه طراحی به وقوع می پیوندد هر یک از پلان های طرح شده یک مستند و مدرک جداگانه و مستقل است و این اجازه را به پیمانکار می دهد که ابزار و متد های ساخت را به طور مستقیم تعیین کند. طرح نهایی برای تهیه پیکج قراردادی برای اجرای مناقصه استفاده می شود. طرح ها به وضوح به صورت موقت شناسایی می شوند وهم چنین ساختهای دائمی وکنترلی آنها، کنترل موقت مانند آبگیری، شمع بندی، دسترسی به سایت و کنترل فرسایش در رسوبات را شامل می شود. در پلان های ضروریست به طور مفصل درخصوص هر مرحله از ساخت و ساز و ترتیب ساخت سازه و حصول اطمینان از پایداری سازه و ضریب اطمینان نیز پرداخته شود.

## ۲-۱۲ نظارت و ترتیب ساخت:

ترتیب ساخت بایستی به طور واضح در پلان های نهایی قرار داده شود، که شامل جزئیات دسترسی سایت، آبگیری، سکوی کار و دستور این که هر عضو جداگانه بایستی به چه صورتی ساخته شود، می باشد.

برای پروژه هایی که ممکن است در آن چوبها دارای ابعاد و ویژگی های مشخصی نباشند وهم چنین در مواقعی که شرایط خاصی به وجود می آید لازم است تصمیمات طراحی در حین ساخت صورت گیرد. اساس ترتیب ساخت برای انحراف جریان های بزرگ توسط ELJ ها در شکل ۲-۲۸ ارائه شده است.





شکل ۲-۲۸: بخش های ساخت یکی از چهار سری ساختار ELJ انحراف جریان در رودخانه Cispus.

## ۲-۱۳ تاریخچه تحقیقات:

هر چند که در بحث سازه های کنترلی جریان مطالعات عددی، آزمایشگاهی و تجربی فراوانی صورت گرفته است، ولی ارائه تاریخچه از این تحقیقات به نظر ضروری نبوده و لذا سعی شده است به طور خاص به ارائه عقبه مطالعات انجام شده بر روی ساختارهای الوار چوبی به عنوان یکی از جوانترین سازه های کنترلی جریان تمرکز گردد. سیر تکاملی اغلب مطالعات انجام شده بر روی LW و هندکوب مربوط به آن در شمال غربی اقیانوس آرام در اوایل دهه ۱۹۸۰ صورت گرفته است. با این حال اکثر دفترچه های راهنمای قبل از ۱۹۶۶ شامل طرح های پیشنهاد شده با نقشه های مفهومی هستند که فاقد معیارهای دقیق مهندسی می باشند؛ و بسیاری از این مطالعات قبل از تمرکز تحقیقات بر روی دوام و پایداری سازه رخ داده است (D'Aoust 1991). در اواخر دهه ۱۹۹۰، Robert Millar, Stephone و Tim Abbe و D'Aoust شروع به توسعه و ارائه دستور العمل هایی برای ساخت سازه های عظیم از LW نمودند. نیروی تعادل تئوری آنها، هنوز هم اصل طراحی تعادلی هندبوک تجزیه و تحلیل پایداری ساختار LW ها می باشد.

در سال 2001، Yanine Castro, Rob Sampson یک سری جزئیات راهنمای طراحی به دست آمده از یادداشت های فنی شماره ۱۵ سازمان حفاظت منابع محیط زیست را ارائه کردند (NRCSTN15). NRCSTN15 یک مرجع قوی جهت طراحی است چرا که حاوی یک خلاصه مختصر به همراه دو مثال با محاسبات کامل می باشد.

F. Douglas Shields و همکاران در سال ۲۰۰۴ اولین کسانی بودند که به طور خلاصه طراحی LW را در کانال های با بستر شن و ماسه مورد بررسی قرار دادند. هر چند که معادلات بنیادی مشابه هستند، آنها به این نتیجه رسیدند که نیروهای شناوری معمولاً مهم ترین موضوع مورد توجه در این مورد می باشند.

Abbe و همکاران مجموعه گسترده ای از دستورالعمل ها برای طراحی LW را به رشته تحریر در آوردند و برای NRCS در سال ۲۰۰۵ تهیه کردند، هر چند که به نظر می رسد تاکنون این سند هیچ گاه به عنوان یک پیش نویس نهایی منتشر نشده است.

Abbe هم چنین مطالعات میدانی متعددی در رابطه با عملکرد LW و دوام آنها انجام داده است. در سال ۲۰۰۶، Andrew Brooks با اشاره به بسیاری از مطالعات صورت گرفته به گردآوری یک مجموعه بسیار خوب و سازمان یافته از دستورالعمل های طراحی LW جهت طراحی این ساختارها در جریان های رودخانه ای کشور استرالیا همت گمارد.

هم چنین در سال ۲۰۰۷، NRCS یک سری مکمل های فنی جهت کتاب ملی مهندسی (NEH654) ارائه کرد که شامل خلاصه نظریه هایی از دستورالعمل های طراحی و ساختارهای مذکور می باشد. قابل توجه ترین مکمل های فنی TS14E و TS14J است که جزئیات روشهای تثبیت سازه به بستر رودخانه و طراحی LW را شامل می شود.

در سال ۲۰۱۲ توسط دپارتمان حیات وحش و شیلات واشنگتن دستورالعمل های بازسازی زیستگاه های جریان به روز رسانی گردید. این مستند شرح کاملی بر روشهای طراحی است. در نهایت یک مطالعه میدانی اخیراً در سال ۲۰۱۲ توسط Carlos Alonsom Shiekds بر روی نیروهای جریان با تمرکز بر روی ضرایب نیروهای Drag و Lift وارد شده بر LW ارائه شده است.

لیست کاملی از دستورالعمل های مرجع در زیر ارائه شده است:

• ۲۰۱۲ دپارتمان شیلات و حیات و محیط زیست واشنگتن: دستورالعمل بازسازی زیستگاه های جریان، تثبیت و قرار گیری LW در جریان (که این دستورالعمل از سال 2004 مورد تجدید نظر قرار نگرفته است).

• Alonso & shiles 2012: تعیین نیروهای وارده بر LW ناشی از جریان در رودخانه.

- Shields & wood-2007 (مکمل فنی USDA NRCS NeH 654 به شماره 14j): جنس Lw های مصرفی جهت محافظت از سواحل و زیستگاه ها.
  - 2007 مکمل فنی 14E کتاب ملی مهندسی USOANRCS NEH 654: طراحی و کاربرد مهار بندها جهت تثبیت سازه.
  - Brook و همکاران: تجدید نظر دستورالعمل طراحی کاربرد چوبها در جریان در کشور استرالیا.
  - Owens, Riley Adams, Abbe and Montgomery-2005: کاربرد ELJ در جهت محافظت سواحل و افزایش زیستگاه ها.
  - Shields, Morin, cooper, 2004: طراحی ساختارهای الوار چوبی برای بازسازی و توانبخشی جریان.
  - Abbe, Brooks & Montgomery 2003: نقش چوبهای در توانبخشی، بازسازی و مدیریت رودخانه.
  - (2001) castro & Samson : NRCS) یادداشت فنی شماره ۱۵ پیوستگی الوار چوبی جهت ایجاد ساختاری تنظیم شده شده.
  - Abbe-2000: الگوها، مکانیزم و تاثیرات ژئومورفیک انباشتگی (جمع شدگی) قطعات چوبی بر روی سیستم رودخانه ها.
  - D Aoust and Millar 2000: پایداری ساختار زیست گاهی الوار چوبی به وسیله وزنه های تعادل.
  - D Aovst-1999: ملزومات پایداری و عملکرد LW به عنوان زیستگاه ماهیان.
  - Abbe Montgomery, petroff 1997: طراحی و پایداری ساختارهای الوار چوبی برای محافظت از سواحل و باز سازی زیستگاه ها از جمله مطالعه موردی رودخانه Cowlitz.
- هر چند که معادلات اساسی در تمام مطالعات مشابه است، (2007) NRCS NEH 654 Ts 14E, TS 14j) دستورالعمل های اساسی طراحی برای توسعه ابزار محاسباتی را پیشنهاد می نماید که در آن جدیدترین روشها و طرح جامع و معادلات ارائه شده است. چندین تحقیق دیگر جهت تکمیل دستورالعمل NRCS2007 از جمله دستورالعمل 2006 توسط Brooks، روشهای محاسباتی در NRCS 2001،

پیش نویس مقالات Abbe، مطالعات میدانی انجام شده توسط shields, Alonso در سال ۲۰۱۲ صورت گرفته است.

علاوه بر این WA2012، دستورالعمل بازسازی زیستگاه های جریان، بینش ارزشمندی در مورد ملاحظات طراحی LW ها ارائه داده است.

**کارهای عددی صورت گرفته تا به امروز:** اولین مدل عددی طراحی و شناخته شده در سال 2000 توسط Hillar صورت پذیرفت، که مستقیماً براساس مطالعات انجام شده Millar و D Aoust در سال 2000 می باشد. هر چند که این محاسبات همراه با محدودیت بوده و تنها برای ساختار های تک الواره می باشد.

در سال ۲۰۰۱، Jon Fripp & Jerry Bernard & Kerry Robinson دو ابزار محاسباتی جهت آنالیز پایداری ارائه کردند. البته این مورد نیز همراه با محدودیت های کار محاسباتی قبلی بود. Scott wright در سال 2003 با تمرکز بر روی محدودیت های قبلی ابزار قدرتمندی جهت ساختارهای چند الواره ارائه داد؛ که این ابزار بر اساس استاندارد های طراحی (2000 DAoust & Millar) می باشد. این ابزار هم چنین شامل محاسبات پایه ای در خصوص آب شستگی و فواصل ELJ ها می باشد. این ابزار محاسباتی طیف کاربرد کمی در خصوص ساختارهای تک الواره می باشد لیست کاملی از ابزار های محاسباتی در زیر ارائه شده است:

• Wood & Jarrett-2004: ابزار طراحی ریشه الوار چوبی جهت باز سازی رودخانه ای.

• Scott wright-2003: محاسبه شناوری ELJ.

• (USDA NRCS) Fripp, Robcnson& Bernard-2002,2001: مدل عددی طراحی ریشه ها و

محاسبات مهار سازی ساختار ELJ.

• Millar-2000: مدل عددی طراحی LW.

هر یک از ابزار های محاسباتی فوق دارای محدودیتی بوده و پر واضح است که نیاز به طراحی ساختارهایی جهت باز سازی جریان ضروری بوده و پیشنهاد می گردد مدل عددی ای جهت محاسبات با انعطاف بیشتری در خصوص ساختار های تک الواره و چند الواره کوچک صورت گیرد.

کنترل رودخانه از مسائل پیچیده مهندسی رودخانه است که از جنبه های علمی، فنی، اقتصادی و زیباشناسی هنوز مورد بحث بوده و به علت تأثیر پارامترهای مختلف، تاکنون ضوابط و معیارهای معین و مشخصی، به منظور انتخاب و طراحی (Shen, 1984) بهترین روش و گزینه، به ثبت نرسیده است.

در دهه اخیر روش های کنترل و مهار رودخانه و تثبیت حریم آن در بازه های بحرانی مورد ارزیابی فنی و اقتصادی قرار گرفته است. براین اساس و با توجه به دانش کنونی، کارهای رودخانه ای عموماً غیر اقتصادی برآورد شده، به طوری که هزینه روش های حفاظت رودخانه به طور کلی بیشتر از منافع حاصل از آن، برآورد شده است. به همین دلیل تلاش های حاضر جهت دست یابی به گزینه های حفاظتی کم هزینه، مورد بررسی و ارزیابی می باشد.

## فصل سوم:

معادلات حاکم بر جریان و معرفی نرم افزار-Flow

3D

### ۳-۱ مقدمه:

معادلات حاکم بر جریان سیال از قوانین بقای جرم و مومنوم بدست می آیند و به صورت معادلات دیفرانسیل جزئی می باشند. به طور کلی برای بدست آوردن معادلات جریان، سه گام زیر را میتوان در نظر گرفت:

- انتخاب قوانین پایه ای صحیح
- کاربرد قوانین توسط یک مدل مناسب جریان
- اقتباس معادلات ریاضی که مجسم کننده قوانین فیزیکی فوق باشند.

### ۳-۱-۱ معادلات بقای جرم و تغییرات آن:

معادله کلی بقای جرم یا پیوستگی به صورت زیر است:

$$V_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (1-3)$$

که در آن  $V_f$  جزئی از حجم باز برای جریان،  $\rho$  دانسیته سیال،  $R_{DIF}$  ترم انتشار آشفتگی و  $R_{SOR}$  مربوط به منبع جرم می باشد. پارامترهای  $u, v, w$  مولفه های سرعت در سیستم مختصات  $(x, y, z)$  و یا



$(r, \theta, z)$  هستند.  $A_x$  جزئی از سطح باز در جهت  $x$  و  $A_y, A_z$  جزئی از سطح باز در جهت های  $y$  و  $z$  می باشند. ضریب  $R$  متناسب با سیستم مختصات بوده که به صورت زیر تعریف می شود. وقتی سیستم مختصات استوانه ای انتخاب می شود، مشتقات  $y$  باید به مشتقات زاویه ای تبدیل شوند یعنی:

$$\frac{\partial}{\partial y} \rightarrow \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta}$$

این تغییر با استفاده از فرم تعادلی زیر انجام می شود:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} = \frac{r_m \theta}{r} \frac{\partial}{\partial y} \quad (2-3)$$

که در آن  $y = r_m \theta$  و  $r_m$  شعاع ثابت نسبت به یک مبدا می باشد. تبدیل انجام شده در معادله بالا راحت است زیرا استفاده از آن فقط احتیاج به ضریب  $R = r_m / r$  در هر مشتق  $y$  در معادلات اصلی در سیستم مختصات کارتزین دارد. وقتی از سیستم مختصات کارتزین استفاده می شود مقدار  $R$  یک و  $\xi$  برابر صفر می باشد.

ترم اول در سمت راست معادله (2-3) ترم انتشار آشفته می باشد که به صورت زیر تعریف می شود.

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ v_p A_x \frac{\partial P}{\partial x} \right] + R \frac{\partial}{\partial y} \left[ v_p A_y R \frac{\partial \rho}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ v_p A_z \frac{\partial \rho}{\partial z} \right] + \xi \frac{\rho v_p A_x}{x} \quad (3-3)$$

که ضریب  $UP$  برابر با  $CP\mu/\rho$  می باشد و  $\mu$  ضریب انتشار مومنتم و  $CP$  ثابتی است که معکوس آن اشاره به عدد آشفتهگی اشمیت دارد. این نوع از انتشار ماده برای فرایند اختلال آشفتهگی سیال که دارای دانستیه غیر یکنواخت است، قابل قبول می باشد. ترم آخر  $R_{SOR}$  در سمت راست معادله (2-3) ترم مربوط به منبع می باشد که می تواند برای مثال جهت مدل کردن تزریق ماده از سطح متخلخل مانع استفاده شود.

مسائلی که شامل سیال قابل تراکم می باشد، احتیاج به حل کامل معادله (2-3) دارد برای سیال غیر

قابل تراکم،  $\rho$  ثابت است و معادله (2-3) برای این شرایط به صورت زیر خواهد بود.

$$\frac{\partial}{\partial x} (uA_x) + \frac{\partial}{\partial y} (vA_y) + \frac{\partial}{\partial z} (wA_z) + \xi \frac{uA_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (4-3)$$

در مسائلی که پخش موج های فشاری صوتی مهم است و سیال به صورت غیر قابل تراکم رفتار

می کند مشتق چگالی نسبت به زمان تقریباً برابر است با:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \approx \frac{1}{c^2} \frac{\partial P}{\partial t} \quad (5-3)$$

که  $c^2$  مربع سرعت صوت و  $P$  فشار می باشد. این تقریب در بازه  $0.1 < \left| \frac{\partial \rho}{\partial t} \right|$  صحیح می باشد. باین

تقریب معادله اصلاح شده پیوستگی به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial u A_x}{\partial x} + R \frac{\partial v A_y}{\partial y} + \frac{\partial w A_z}{\partial z} + \xi \frac{u A_x}{x} = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (6-3)$$

### ۳-۱-۲ معادلات مومنتم:

معادلات حرکت برای مولفه های سرعت جریان  $(u, v, w)$  در سه جهت مختصاتی، معادلات

ناویراستوکس با مقداری ترم اضافه می باشند.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \xi \frac{A_y v^2}{x V_F} \\ & = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s) \\ & \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} + \xi \frac{A_y u v}{x V_F} \\ & = -\frac{1}{\rho} \left( R \frac{\partial P}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \\ & \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} \\ & = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s) \end{aligned} \quad (7-3)$$

در این معادلات کمیت های  $(G_x, G_y, G_z)$  شتاب های حجمی،  $(f_x, f_y, f_z)$  شتاب های ویسکوزیته،

$(b_x, b_y, b_z)$  افت جریان در صفحات و موانع متخلخل و ترم های آخر برای محاسبه تزریق ماده از یک

چشمه که به وسیله یک مولفه ژئومتری نشان داده می شود، می باشد.

ترم  $U_w = (U_w, V_w, W_w)$  در معادله (۷-۳) سرعت مولفه چشمه می باشد که به طور کلی برای اشیاء متحرک (GMO) غیر صفر می باشد.

ترم  $U_s = (U_s, V_s, W_s)$  سرعت سیال در سطح چشمه نسبت به خود چشمه می باشد و در هر حجم کنترل توسط رابطه زیر محاسبه می شود.

$$U_s = dQ / (RHOQSR \cdot dA) \cdot n \quad (۸-۳)$$

که در آن  $dQ$  دبی جرمی جریان،  $RHOQSR$  دانسیته سیال چشمه،  $dA$  مساحت سطح چشمه در سلول و  $n$  بردار خروجی عمود بر سطح می باشد وقتی که در معادله (۸-۳)  $\sigma$  برابر صفر باشد، چشمه از نوع فشار سکون و اگر برابر با یک باشد چشمه از نوع فشار استاتیک خواهد بود.

تشخیص بین این دو نوع چشمه جرمی برای محاسبه نیرویی که از سیال به مولفه چشمه وارد می شود مهم می باشد.

برای ویسکوزیته دینامیکی متغیر شتاب های ویسکوزیته برابر است با:

$$\begin{aligned} \rho V_F f_x &= w_s x - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xx}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{xz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xx} - A_y \tau_{yy}) \right\} \\ \rho V_F f_y &= w_s y - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xy}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{yz}) + \frac{\xi}{x} (A_x + A_y \tau_{xy}) \right\} \\ \rho V_F f_z &= w_s z - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (A_x \tau_{xz}) + R \frac{\partial}{\partial y} (A_y \tau_{yz}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \tau_{zz}) + \frac{\xi}{x} (A_x \tau_{xz}) \right\} \quad (۹-۳) \end{aligned}$$

که مقادیر تنش به صورت زیر می باشد.

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= -\nu \mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{3} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right\} \\ \tau_{yy} &= -\nu \mu \left\{ R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\xi u}{x} - \frac{1}{3} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right\} \\ \tau_{zz} &= -\nu \mu \left\{ \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{1}{3} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + R \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\xi u}{x} \right) \right\} \end{aligned} \quad (۱۰-۳)$$

$$\tau_{xy} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial x} + R \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\xi v}{x} \right\}$$

$$\tau_{xz} = -\mu \left\{ \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right\}$$

$$\tau_{yz} = -\mu \left\{ \frac{\partial v}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial y} \right\}$$

### ۳-۱-۳ مدل های آشفتگی:

آشفتگی به معنی وجود حرکت های ناپایدار متلاطم در جریان است و زمانی اتفاق می افتد که نیروهای نگهدارنده مانند ویسکوزیته به میزان کافی وجود ندارند. در رینولدزهای بالا، ناپایداری های طبیعی که در جریان اتفاق می افتند، از بین نمی رود و تشکیل ادی هایی با مقیاس های طولی متفاوت می دهد این رفتار در موقع خروج آب از شیر آب و یا در سطح آزاد قابل مشاهده است.

به طور مختصر می توان گفت آشفتگی در تمامی اطراف ما وجود دارد و در مدل سازی عددی نیز نمی تواند نادیده فرض شود. به طور ایده آل ما قادر خواهیم بود تمام تغییرات آشفتگی را با استفاده از معادلات پیوستگی و مومنتم شبیه سازی کنیم. این زمانی امکان پذیر است که مش ما به اندازه کافی ریز باشد تا چنین جزئیاتی را ببیند. با این وجود این کار به طور کلی به علت محدودیت های حافظه کامپیوتر و زمان امکان پذیر نیست. بنابراین، ما باید ساده سازی هایی را در مدل سازی انجام دهیم تا تاثیرات آشفتگی را در مشخصات متوسط جریان توصیف کنیم.

### ۳-۲ معرفی روش ها و نرم افزارهای حل عددی معادلات جریان:

در فصل قبل دیده شد که معادلات اصلی برای شبیه سازی جریان سه بعدی، سه معادله دیفرانسیل شامل روابط پیوستگی و اندازه حرکت در جهات x,y,z هستند. این معادلات دیفرانسیل جزئی را به جز در موارد خاص) محیط های جریان ساده(، نمی توان با روشهای تحلیلی حل نمود. البته روش های تحلیلی برای مسائل با هندسه ساده دارای روش حل و جواب دقیق هستند. به طور کلی، در مکانیک سیالات سه روش برای حل مسائل وجود دارد:

- روش تجربی

- روش تئوری

- روش عددی

در روش تجربی، ابتدا مدل فیزیکی از مسئله مورد نظر ساخته شده و سپس پارامترهای مورد نظر توسط وسایل اندازه گیری محاسبه می شوند. صرف نظر از خطاهای مقیاس، در بسیاری از جریان های پیچیده، این روش واقعی ترین نتایج را به دست می دهد. اما از آنجا که ساخت مدل و تهیه وسایل اندازه گیری مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار زیادی می باشد، در بسیاری از موارد نمی توان از این روش استفاده کرد.

در روش تئوری، با حل معادلات حاکم بر جریان از طریق تحلیلی، جواب مسئله مورد نظر به دست خواهد آمد. به جهت حصول جواب تحلیلی در این روش، می توان گفت که استفاده از روش تئوری، دقیقترین راه در حل مسائل مکانیک سیالات است. اما در بسیاری از موارد، معادلات حاکم بر جریان به قدری پیچیده هستند که هیچ راه حل تحلیلی برای آنها وجود ندارد. بعنوان مثال، در جریان غیر دائم در کانال های باز که توسط مجموعه ای از معادلات دیفرانسیل جزئی بیان می گردد، به لحاظ وجود عبارات غیر خطی، جز در حالت های خیلی ساده، حل به روش تحلیلی امکان پذیر نیست. بنابراین ملزم به استفاده از روش های عددی خواهیم بود.

یکی از گزینه های متداول حل معادلات دیفرانسیل حاکم، کاربرد روش های عددی می باشد. در روش عددی، انتگرال گیری از معادلات دیفرانسیل جزئی به صورت عددی انجام می گیرد. در سال های اخیر با گسترش استفاده از کامپیوتر، این روش نسبت به روشهای تجربی و تئوری کاربرد بیشتری یافته است. در روشهای حل عددی، برای حل این معادلات ابتدا محدوده حل شبکه بندی شده و از روشهای منفصل سازی (زمان و مکان) برای تبدیل معادلات دیفرانسیل به معادلات جبری و حل آن توسط کامپیوتر روی تمام نقاط شبکه استفاده می گردد که دقت این روشها وابسته به نحوه منفصل سازی معادلات می باشد.

مزیت این روشها نسبت به روش های تحلیلی این است که روند محاسبات بسیار ساده تر می شود. البته به دلیل حجم زیاد محاسبات در این روشها، همواره نمی توان انتظار جواب هایی کاملاً دقیق داشت، زیرا منابع خطایی زیادی در این روشها وجود دارد. از جمله عواملی که باعث اختلاف نتایج این روشها با جواب های دقیق می گردد، می توان موارد زیر را عنوان نمود:

- ساده سازی ها و فرضیاتی که در بدست آوردن معادلات نمایانگر پدیده مورد نظر اعمال می گردد.
- خطاهایی که ناشی از روشهای منفصل سازی معادلات است .
- استفاده از روشهای تکراری و طولانی برای حل معادلات جبری حاصل .
- ساده سازی ها در مدل هندسی مساله

### ۳-۳ مولفه های مدل سازی عددی:

یک مدل سازی عددی شامل اجزاء زیر می باشد:

- مدل ریاضی  
منظور از مدل ریاضی همان معادلات حاکم بر مساله می باشد. به عبارت دیگر مدل ریاضی، رفتار جریان و پدیده های فیزیکی موجود را به صورت عبارات ریاضی تشریح می نمایند. به عنوان مثال مدل ریاضی جریان عبوری از محیط متخلخل زیر یک سد به صورت معادله لاپلاس تعریف می گردد.
- دستگاه مختصات  
به منظور گسسته سازی معادلات حاکم و ایجاد شبکه محاسباتی در میدان حل، نیاز به انتخاب دستگاه مختصات می باشد. با توجه به نوع مساله، روش حل عددی و پیچیدگی مرزهای میدان محاسباتی، دستگاه مختصات می تواند دستگاه مختصات کارتزین یا دستگاه مختصات منطبق با مرز انتخاب گردد.

- شبکه بندی

به طور کلی دو نوع شبکه با ساختار و شبکه بدون ساختار وجود دارد. در شبکه با ساختار دسته خطوط همدیگر را در هیچ نقطه ای قطع نمی کنند و اعضای هر خانواده اعضای خانواده دیگر را تنها یک بار قطع می کند. نوعی از شبکه با ساختار، شبکه با ساختار بلوکه شده می باشد. در این نوع شبکه بندی یک قسمت از شبکه را با توجه به شدت گرادیان متغیرهای مجهول می توان ریزتر نمود.

مزایای اصلی روش شبکه بندی با ساختار عبارتند از:

- ساده بودن شبکه بندی

- ماتریس معادلات حاصل شکل منظم دارد.

- تعداد زیاد الگوریتم های حل برای شبکه های با ساختار

شبکه های بدون ساختار معمولاً از اجزای مثلثی، هرمی و نامنظم تشکیل می شود. این نوع شبکه بندی برای هندسه های پیچیده مناسب می باشد.

- گسسته سازی معادلات حاکم

سه روش اساسی برای گسسته سازی و حل مسائل جریان سیال وجود دارد: روش تفاضل محدود (FDM) روش حجم محدود (FVM) روش المان محدود (FEM).

- الگوریتم حل

با گسسته سازی معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر روی شبکه محاسباتی، مجموعه ای از معادلات جبری حاصل می گردد که با روش های مختلفی می توان آن را حل نمود. با استفاده از الگوریتم ها و روش های مختلف، دستگاه معادلات جبری حل شده و مجهولات مساله درگره های شبکه محاسباتی تعیین می گردد.

### ۳-۴ خصوصیات مشترک روش های عددی:

- سازگاری

اگر با نزدیک شدن  $\Delta t, \Delta y, \Delta x$  و غیره به سمت صفر، فرم گسسته شده معادله به معادله دیفرانسیلی نزدیک شود گویند، روش سازگاری می باشد.

- پایداری

روش عددی یک روش تقریبی می باشد، یعنی دارای خطاست. روش پایداری روشی است که خطاهای گسسته سازی در روی هم جمع نگردد. خطای کلی ( $e_r$ ) تفاوت بین حل عددی و حل تحلیلی معادله دیفرانسیلی جزئی است. برای این که حل عددی پایدار باشد لازم است که مطمئن

$$\left| \frac{e_{ri}^{n+1}}{e_{ri}^n} \right| \leq 1 \text{ شویم}$$

- همگرایی

همگرایی به این معناست که با ریز کردن شبکه محاسباتی، جواب های حاصل از حل معادله جبری به جواب های دقیق معادله دیفرانسیل میل نماید. اگر روش پایدار و سازگار باشد قطعاً همگرا نیز می باشد.

- دقت

برای تعیین دقت روش عددی بایستی منابع خطا را بدانیم. منابع اصلی خطا می توانند موارد زیر باشند:

- خطای بیان پدیده فیزیکی به صورت مدل ریاضی

- خطای ناشی از منقطع سازی

- خطای همگرایی

معمولاً مقداری خطا در محاسبات تکراری به عنوان ترانس در نظر گرفته می شود تا در آن مرحله محاسبات متوقف گردد.



### ۳-۵ روشهای مختلف گسسته سازی معادلات:

برای منفصل سازی معادلات حاکم بر جریان، روش های مختلف و زیادی ابداع گردیده است که به عنوان نمونه می توان از روشهای تفاضل محدود، حجم محدود و اجزاء محدود نام برد. معمولترین روشها نیز به نوبه خود ممکن است دارای روشهای مختلف زیر مجموعه ای باشند که هر کدام از آنها، با توجه به شرایط مسئله ممکن است در حل آن مناسب تر باشد و دقت کافی را در محاسبات مربوطه اعمال کند. البته با کوچک کردن شبکه بندی ها در محیط حل، می توان اطمینان داشت که جوابهای حاصل از روشهای مختلف فوق، بسیار به یکدیگر نزدیک باشند.

#### روش تفاضل محدود ( *Finite Differences Method* ):

این روش، یکی از روش هایی است که از فرم دیفرانسیلی معادلات استفاده می کند. در این روش هر ترم معادله دیفرانسیل، با یک عبارت جبری تقریب زده می شود. همچنین فقط در مواردی می توان از این شبکه بندی با ساختار استفاده کرد که مرزهای محیط حل دارای شکل هندسی ساده منظمی باشد. در این روش برای گسسته سازی معادلات از سری تیلور و یا برازش یک منحنی برای مقدار تقریبی مشتق و تابع استفاده می شود.

معادلات جبری به دست آمده از دو روش قابل حل هستند. روش اول، روش صریح است، در روش صریح، مقدار پارامتر مورد نظر در هر نقطه با استفاده از مقادیر پارامترهای نقاط مجاور آن نقطه که در گام قبلی محاسبه شده اند، به دست می آید. یعنی در هر گام از محاسبه، تنها یک مجهول در معادله وجود دارد که به راحتی به دست می آید. اما روش دوم که روش ضمنی نام دارد، در هر مرحله از محاسبات دارای چندین مجهول است. زیرا پارامتر مورد نظر در هر نقطه با استفاده از مقادیر نقاط مجاور آن پارامتر که مقدار آنها در گام فعلی به دست می آید، تعیین می گردد. یعنی در این روش در هر گام محاسباتی، با حل یک دستگاه معادلات مقدار پارامتر مورد نظر در تمام نقاط به دست می آید. روشن است که حل معادلات ضمنی بسیار پایدارتر از معادلات صریح اند. روشهای ضمنی، دارای فایده مهم

پایداری معادلات تفاضل محدودند. زیرا بیشتر آنها بی قید و شرط، پایداری ندارند. بنابراین گام های زمانی بزرگتر در این روش مجاز است. روش های تفاضل محدود، برای گسسته سازی معادلات دیفرانسیل بسیار ساده هستند. اما دارای چند ایراد نیز هستند. ایراد این روش آن است که تنها روی شبکه های با ساختار قابل استفاده اند. یعنی یا تنها برای مسائل دارای محدوده منظم و کوچک به کار می روند و یا اینکه باید کل شبکه بندی به اندازه ریزترین شبکه مورد نیاز باشد که این مورد نیز باعث افزایش حجم محاسبات و زمان آن خواهد شد .

### روش اجزاء محدود (Finite Element Method):

در این روش، از شکل انتگرالی معادلات استفاده می شود. یعنی از معادلات حاکم، در روی محدوده مورد نظر حل، انتگرال گیری می شود. در نتیجه تنها برای گسسته سازی ترم های مکانی معادلات به کار می رود و برای گسسته سازی ترم های زمانی، باید از روش تفاضل محدود استفاده کرد. در این روش، معادله در یک ضریب وزنی ضرب می شود. این ضریب نقش یک تابع درون یابی را بازی می کند .

### روش حجم محدود (Finite Volume Method) :

قوانین بقای حرکت سیال را می توان به یکی از شکل های جبری، دیفرانسیلی و یا انتگرالی بیان نمود. برای حل معادلات دیفرانسیلی، همانطور که قبلاً تشریح گردید، محدوده حل را شبکه بندی نموده و معادلات دیفرانسیلی با کمک روش های تفاضل محدود گسسته سازی شده و روی شبکه مورد نظر حل می گردند. معادلات تفاضل محدود که معادله های دیفرانسیلی را تقریب می زنند، در قلمرویی مستطیلی و با فاصله های مساوی قابل حل می باشند. اما این قلمروها در عمل بسیار کم می باشند و شکل بیشتر قلمروها نامنظم است. در اینصورت با تبدیل مختصات فیزیکی به مختصات مستطیلی فضای حل، می توان روشهای تفاضل محدود را برای این قلمرو به کار برد. البته با این کار مشکلات جدی در دقت و همگرایی حل ایجاد می گردد. اما در روشهای حجم محدود، نیازی به شبکه های با سازمان وجود ندارد. همچنین چون معادلات انتگرالی را مستقیماً در قلمرو فیزیکی به کار می بریم، تبدیل مختصات

دیگر لازم نیست. در این روش نیز مانند اجزاء محدود، از معادلات حاکم بر جریان در محدوده حل، انتگرال گرفته می شود.

همچنین این روش مانند روش اجزای محدود تنها قادر به گسسته سازی مشتقات مکانی است و برای گسسته سازی مشتقات زمانی باید از روش تفاضل های محدود استفاده نمود. تفاوت عمده این روش با روش اجزای محدود در این نکته است که روش اجزای محدود معادلات را بر روی المانها حل می کند ولی در روش حجم محدود معادلات بر روی گره ها حل می شوند. برای حل معادلات در روش حجم محدود، بسته به شرایط حل، روشهای مختلفی وجود دارد. که در زیر به آنها اشاره خواهد شد:

- روش رئوس سلول (*Cell Vertex*):

برای انتقال مقدار متغیر از مراکز سلولهای مجاور به یک گره روشهای مختلفی وجود دارد. اما هر کدام از این روشها نیز به نوبه خود، دارای پیچیدگی هایی هستند. برای غلبه بر این مشکل می توان در هنگام محاسبه فرض کرد که هر حجم کنترل، از مجموعه ای از چند سلول ریزتر تشکیل شده است، یعنی به بیان دیگر هر چند سلول مثلثی، تشکیل یک حجم کنترل چند ضلعی را می دهند که برای انجام محاسبات، از حجم کنترل بزرگتر استفاده می گردد. در این روش متغیر وابسته در رئوس المان محاسبه می گردد. به این دلیل این روش را روش رئوس سلول می نامند.

- روش مرکزیت سلول (*Cell Center*):

در این روش، معادلات در مراکز حجم کنترل ها حل شده و مقدار متغیر مورد نظر در مرکز هر سلول به دست می آید.

### ۳-۶ معرفی برخی نرم افزارهای تحلیل عددی جریان:

برای شبیه سازی جریان سیال تاکنون نرم افزارهای متعددی ارائه شده است، که بر اساس روش حل عددی و استفاده از سیستمهای شبکه بندی و معادلات متفاوت، دارای کاربردهای گوناگونی می باشند،

در ادامه به اختصار به چند نرم افزار موجود اشاره می شود و در نهایت به تفصیل، نرم افزار هیدرودینامیکی FLOW-3D و نحوه مدل سازی عددی در این نرم افزار توضیح داده خواهد شد.

### **نرم افزار ANSYS :**

ANSYS یک نرم افزار برای حل مسائل گسترده عددی بر پایه روش اجزاء محدود می باشد. این نرم افزار قابلیت مدل نمودن مسائل استاتیک و دینامیک سازه های انتقال حرارت و مسائل مربوط به سیالات را دارد. به علاوه ANSYS می تواند مساله های آکوستیک ( acoustic ) و الکترومغناطیس ( electro-magnetic ) را در نظر گیرد. نرم افزار ANSYS در ابتدا برای تحلیل مسائل سازه ای طراحی شده بود که به مرور زمان تحلیل مسائل دینامیک سیالات محاسباتی در دستور کار این نرم افزار قرار گرفت.

### **نرم افزار FLUENT :**

FLUENT یکی از مهمترین و گسترده ترین نرم افزارهای شبیه سازی جریان می باشد که کاربرد وسیعی در صنعت دارد. این نرم افزار برای حل معادلات حاکم بر جریان سیال از روش حجم محدود استفاده می کند. از خصوصیات این نرم افزار می توان به سرعت محاسبه بالا، نتایج صحیح، مش بندی منعطف، کاربردهای صنعتی و ... اشاره کرد. این نرم افزار امکان تغییر شبکه، به صورت کامل و تحلیل جریان با شبکه های بی ساختار برای هندسه های پیچیده را فراهم می سازد. نرم افزار FLUENT قابلیت شبیه سازی و مدل کردن جریان در هندسه های پیچیده دو بعدی و سه بعدی جریان تراکم پذیر و غیرقابل تراکم، تحلیل Steady و یا Transient، جریانهای لزج، آرام و متلاطم، سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی و جریانهای چند فاز، جریانهای سطح آزاد و ... را دارد.

### **نرم افزار STAR-CD :**

از خصوصیات بارز STAR-CD ، می توان به صحیح، سریع، کارآمد و باصرفه بودن برای تحلیل مسائل دینامیک سیالات محاسباتی اشاره کرد. این نرم افزار بر مبنای روش حجم محدود معادلات جریان را حل می کند. و از سیستم شبکه بندی بی ساختار برای تحلیل مسائل CFD استفاده می کند. یکی از

مهمترین خصوصیات STAR-CD سرعت بالای آن در محاسبه جریانات گذرا (Transient) می باشد . این نرم افزار برای جریانهای پایا و گذرا، سیالات آرام نیوتنی و غیر نیوتنی، جریانات تراکم پذیر و تراکم ناپذیر و ... کاربرد دارد. همچنین در این نرم افزار از مدل‌های جدید آشفتگی نظیر LES و DES استفاده می شود.

### **نرم افزار FIDAP :**

FIDAP یک نرم افزار عمومی حل میدان جریان می باشد، که به صورت دو بعدی و سه بعدی و براساس روش المان محدود میدان جریان را تحلیل می نماید. این نرم افزار ابتدا به منظور تحلیل سازه تهیه شده بود، اما در ویرایش های بعدی قابلیت آنالیز سیالات نیز به آن اضافه شد. شبکه استفاده شده در این نرم افزار می تواند منظم یا نامنظم باشد.

### **نرم افزار TELEMAC :**

این نرم افزار قابلیت تحلیل دوبعدی یا سه بعدی میدان جریان را به صورت المان محدود دارا می باشد، این نرم افزار برای مدل کردن بسیاری از رودخانه ها استفاده شده است و در مسئله شکست سد نیز از آن بهره گرفته شده است.

### **نرم افزار PHONIX :**

در سال ۱۹۸۱ این نرم افزار عمومی حل میدان جریان سیالات، تهیه شد. این نرم افزار میدان جریان را به روش حجم محدود حل می کند و از شبکه منظم غیر متعامد در آنالیز میدان جریان استفاده می کند.

### **معرفی نرم افزار FLOW-3D:**

آغاز کار Flow-3D را می توان ، سال ۱۹۶۳ هنگامی که در آزمایشگاه (LANL) Los Alamos دکتر C.W. Tony Hirt یک روش منحصر به فرد افزایش پایداری روشهای حل عددی با نام Volume of

Fluid (VOF) ارائه داد، دانست. ماموریت شغلی و علمی او در آن زمان گسترش و بهبود یک روش برای مدل نمودن دینامیک سیالات برای کاربردهای علمی و صنعتی بود. بر این اساس در جهت گسترش و بهبود کار، از راهکارهایی همچون اخذ نظرات واحدهای صنعتی و محاسباتی برای ایجاد یک نرم افزار CFD (دینامیک سیالات محاسباتی) استفاده گردید. این روند کار منجر به ایجاد یک نرم افزار با قابلیت بالا به نام Flow-3D در سال ۱۹۸۵ گردید. اکنون پس از گذشت سالها با ارتقا نرم افزار مربوطه، Flow-3D ، یک نرم افزار جامع دینامیک سیالات محاسباتی برای مقاصد تجاری، علمی، نظامی و صنعتی می باشد.

نرم افزار Flow-3D یک مدل مناسب برای مسائل پیچیده سیالات می باشد، که دارای کاربرد وسیعی می باشد. این برنامه برای جریان های سه بعدی غیر ماندگار که دارای سطح آزاد و هندسه پیچیده هستند کاربرد دارد. در این نرم افزار از روش حجم محدود در شبکه بندی منظم مستطیلی استفاده می شود. به لحاظ استفاده از روش حجم محدود در یک شبکه منظم، شکل معادلات گسسته شده مورد استفاده نظیر معادلات گسسته شده در روش تفاضل محدود می باشند. بر این اساس Flow-3D از روشهای دقت مرتبه اول و دوم در حل معادلات بهره می برد، که در ادامه شرح داده خواهد شد. همچنین این نرم افزار از پنج مدل آشفتگی نظیر مدلهای  $k-\epsilon$  و RNG استفاده می کند.

در نرم افزار Flow-3D از دو تکنیک عددی برای شبیه سازی هندسی استفاده شده است:

- روش حجم سیال (VOF) (Volume- of- Fluid) :

این روش برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد مورد استفاده قرار می گیرد.

- روش کسرمساحت حجم مانع - FAVOR (Fractional Area-Volume Obstacle Representation):

برای شبیه سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزهای هندسی کاربرد دارد.

### ۳-۶-۱ روش حجم سیال VOF :

روش انتقال VOF موجود در نرم افزار Flow-3D بر مبنای تقریبات سلول دهنده- پذیرنده (donor-acceptor) می باشد که اولین بار توسط Nichols و Hirt بیان شد. روش استاندارد از اپراتور Splitting و مقادیر تابع VOF از زمان قبل را برای محاسبه شار عبوری در هر سه جهت مختصات محاسبه می کند. وقتی سطح آزاد وجود دارد همه المانها شامل سیال نمی باشد. بعضی از المانها پر و بعضی خالی هستند و تعداد کمی از المانها هم شامل سطح آزاد می باشند (یعنی نیمه پر هستند). یک راه مناسب برای تعیین موقعیت المان تعیین کمیت F است که میزان کسری از المان را که توسط سیال احاطه شده است را تعیین می کند. به این کمیت، تابع حجم سیال (VOF) گفته می شود.

0.0	0.0	0.0	0.0
0.6	0.55	0.15	0.0
1.0	1.0	0.7	0.0
1.0	1.0	0.9	0.05

شکل ۳-۱ : نمونه ای از مقادیر تابع VOF در نزدیکی سطح آزاد. تابع کسر سیال (F) در محیط سیال برابر با یک و در خارج از سیال برابر با صفر می باشد. با داشتن مقدار کسر سیال F می توان مکان عمومی و زاویه سطح آزاد در المان سطحی را بدست آورد و این حالت با سیال موجود در المانهای مجاور کنترل می شود. سیال در المانهای سطحی می بایست در نزدیکترین فاصله با المانهای مجاور که بیشترین سیال را دارند قرار بگیرد. وقتی که مکان و زاویه قرارگیری سطح آزاد تعیین شد، می توان از خصوصیات مرزی سطح آزاد برای محاسبات عددی حرکت سیال استفاده کرد. با حرکت سیال، مقدار کمیت F نیز در طی جریان تغییر خواهد کرد و با حرکت

سیال از بین شبکه ثابت حجم کنترل، به طور اتوماتیک تعدادی از المان ها توسط سیال شکسته می شوند.

حجم سیال در سلول به شکل زیر بیان می شود:

$$F_{vol} = FV_f dx dy dz \quad (11-3)$$

معادله سینماتیک برای تابع F در روش VOF در غیاب مرجع جرم برابر است با:

$$V_f \frac{\partial F}{\partial t} + \nabla \cdot (AU F) = 0 \quad (12-3)$$

که در آن  $A=(A_x, A_y, A_z)$  و  $V_f$  کسرهای سطح و حجم هستند که شرایط هندسی جریان را بیان می کنند.  $U=(u, v, w)$  سرعت سیال و مقدار  $AU$  برابر است با:

$$AU = (A_x u, A_y v, A_z w) \quad (13-3)$$

روش قوی، درست و رایجی که به هر دو هدف موجود در شبکه ثابت اولری می رسد، محاسبه شارحجمی با استفاده از بازسازی هندسی سطح مشترک است که از مقادیر تابع VOF در داخل و اطراف حجم کنترل معلوم استفاده می کند، بیشتر روشهای موجود از راه مشابهی برای تعیین شکل سطح مشترک استفاده می کنند که می توان به روشهای PLIC و SLIC و حداقل مربعات اشاره کرد. این قبیل روشها دارای خصوصیات بقای حجم خوبی هستند.

روش جدید انتقال VOF شامل سه مرحله است:

- تخمین سطح مشترک سلول با سطح افقی

- انتقال حجم سیال مطابق با سرعت محلی

- محاسبه مقادیر جدید کسر سیال در سلولهای محاسباتی با استفاده از روش Overlay

در این روش بر خلاف روش استاندارد VOF برای هر سلول یک وجه اشتراک تعریف می شود که با توجه به این مسئله مقادیر حاصله از هر سلول می تواند به صورت پاره ای از حجم سلول بیان گردد و



این عمل با استفاده از تعریف بردار نرمال بر وجه مشترک ،  $n$ ، قابل بیان است. وجه مشترک هر سلول توسط یک سطح مانند زیر مشخص می گردد.

$$n_x x + n_y y + n_z z = C \quad (14-3)$$

با توجه به معادله زیر می توان مقدار شار را برای هر حجم کنترل محاسبه کرد:

$$n_x = \frac{1}{|n|} \frac{F_r - F_l}{\Delta x} \quad (15-3)$$

$$F_l = \frac{2(1 - F_i)(1 - F_{i-1})}{2 - F_i - F_{i-1}}$$

$$F_r = \frac{2(1 - F_i)(1 - F_{i+1})}{2 - F_i - F_{i+1}}$$

در معادله فوق  $\Delta x$  اندازه سلول در جهت  $x$ ،  $F_l$  و  $F_r$  نشان دهنده قسمت‌هایی از جوه چپ و راست سلول است که توسط سیال اشغال نشده اند. و  $i$  برابر با اندیس در جهت  $x$  است. به عنوان مثال اگر سلول  $i$  یا  $i - 1$  پر باشند) یعنی  $F_i, F_{i-1}$  برابر با ۱ باشند) بنابراین میزان  $F_l$  برابر صفر خواهد بود. برای محاسبه مولفه های نرمال  $y, z$  نیز از روش مشابهی استفاده می شود. مقدار  $C$  نیز در معادله ۳- برای ۱۴ با تکرار تا برابر شدن حجم سیال در محدوده سلول، سطح واقعی میزان سیال در سلول بدست می آید.

گام بعدی حرکت حجم سیال در سلول است. این بوسیله حرکت هر وجه از سلول توسط مولفه های سرعت که در هر وجه قرار دارد انجام می شود. همانطور که در شکل ۳-۲ نمایش داده شده است. برای مثال، وجه سمت چپ با مولفه سرعت  $u_{i-1}$  و وجه سمت راست با سرعت  $u_i$  حرکت می کند. فاصله  $dx$  که وجه سلول با آن حرکت می کند، با استفاده از حل مرتبه ۲ معادله زیر بدست می آید:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{Ax}{Vf} U \quad (16-3)$$

برای وجه سمت راست سلول  $i$  فاصله به شکل زیر محاسبه می شود:

$$dx = \frac{A_{xi}}{V_{fa}} \frac{U_i \Delta t}{1 - \frac{1}{2} \frac{\partial U}{\partial x} \Delta t} \quad (17-3)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \frac{U_i - U_{i-1}}{\Delta x}$$

فاصله  $dx$  با استفاده از بسط تیلور سرعت  $u$  و با در نظر گرفتن جملات درجه صفر و یک و استفاده از سرعت متوسط در طول فاصله  $dx$  با انتگرال گیری از معادله ۳-۱۶ بدست می آید. و در نتیجه دقت جوابهای از درجه ۲ برای اندازه سلول  $\Delta x$  است.

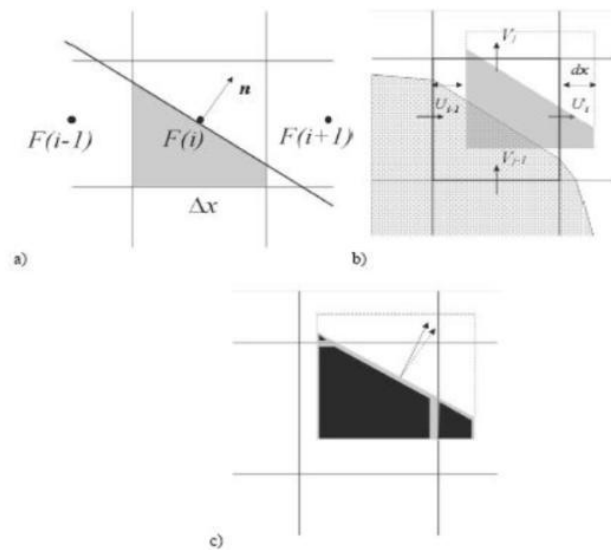
کسر حجم  $V_{fa}$  از سلول بالا دست وجه سلول بدست خواهد آمد. مولفه سرعت  $u_i$  در طول سیال ثابت فرض می شود زیرا وجه سیال می بایست بدون چرخش حرکت کند یعنی، می بایست المان حاصل با خودش موازی باشد. بنابراین معمولاً حجم سیال بعد از انتقال ممکن است با حجم سلول اصلی فرق کند حتی اگر دیورژانس سرعت در سلول برابر صفر باشد:

$$dV = V_{old} / V_{new} \neq 1.0 \quad (18-3)$$

جهت نرمال  $n$  بر سطح مشترک ممکن است با تغییر نسبت شکل حجم سیال انتقال یافته تغییر کند همانطور که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.

مرحله آخر واگذار کردن حجم سیال انتقال یافته به سلول پذیرنده جدید است. این عمل به کمک معادله ۳-۱۶ انجام خواهد شد. با توجه به اینکه زاویه المان در طی فرایند انتقال نباید تغییر کند، انجام این عمل بسیار ساده خواهد شد. تصحیح حجم سیال محاسبه شده از مقدار محاسبه شده  $dV$  در معادله ۳-۱۸ برای اطمینان از برابری حجم سیال ترکیب شده در سلولهای پذیرنده و سلول دهنده استفاده می شود.

اگر سلول دهنده دارای سطح مشترک آب و هوا نباشد، این الگوریتم به انتقال سه بعدی از درجه دقت یک کاهش پیدا می کند، در جایی که فرض می شود که پخش سیال از بین حجم سلول انجام می شود در این حالت، به مرحله اول که در بالا گفته شد، (بازسازی سطح مشترک) نیازی نیست.



شکل ۳-۲: سه مرحله روش تعیین سطح آزاد نیمه لاگرانژی: (a - سطح مشترک خطی که با نرمال  $n$  بازسازی می شود. (b) حرکت حجم کنترل (c) همپوشانی حجم انتقال یافته و شبکه.

در الگوریتم جدید، حجم سیال در اشل محلی، حفظ می شود، حجم سیالی که سلول دهنده را ترک می کند معادل با حجم سیالی است که در سلولهای پذیرنده قرار میگیرد. مزیت بزرگ روش VOF این است که سیال در یک شبکه ثابت حرکت می کند و در نتیجه به تغییر شکل و بازسازی شبکه نیازی نیست و همچنین جرمهای سیال می توانند براساس قوانین دینامیک با هم ترکیب یا از هم جدا شوند و به هیچ منطق خاصی برای تعیین تقاطع سطوح نیاز نیست. روش VOF برای فرآیندهای که متناوباً تر و خشک می شوند مثل امواج در ساحل یا امواج جذر و مدی مناسب می باشد.

### ۳-۶-۲ روش کسر مساحت حجم مانع - (FAVOR):

این روش برای شبیه سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزها کاربرد دارد. هندسه مسئله بوسیله محاسبه کسر مساحت وجوه و کسر حجم هر المان برای شبکه که بوسیله موانعی محصور شده اند تعریف می شود در روش FAVOR باید سه کسر مساحت و یک کسر حجم برای هر المان ذخیره شود که این نسبت به روش شبکه های منطبق بر مرز صلب ((Body - fitted coordinate (BFC)) اطلاعات کمتری است.

همانطور که کسر حجم سیال موجود در هر المان شبکه برای قرارگیری سطوح سیال مورد استفاده قرار می‌گرفت، کمیت کسر حجم دیگری برای تعیین سطوح صلب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در عمل وجود کسر حجم باز  $V_f$  برای یک المان سیال مانع از وجود صلب در آن المان نمی‌شود. همچنین نسبت سطح آزاد هر وجه از المان نیز محاسبه می‌شود. روشی مشابه با VOF می‌تواند در تعیین مرزهای صلب که شبکه ثابت را قطع می‌کنند، مورد استفاده قرار بگیرد. این اطلاعات بعداً برای تعیین شرایط هندسی دیوارهای مرزی که جریان می‌بایست با آنها مطابق باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. فلسفه روش FAVOR بر این مبناست که الگوریتمهای عددی بر مبنای اطلاعاتی شامل فقط یک فشار، یک سرعت، یک دما و ... برای هر حجم کنترل می‌باشد، که این با استفاده از مقادیر زیادی از اطلاعات برای تعریف هندسه متناقض است. بنابراین روش FAVOR المانهای ساده مستطیلی را حفظ می‌کند در صورتیکه می‌تواند اشکالی با هندسه پیچیده در حد سازگاری با مقادیر جریان میانگین گیری شده را برای هر المان نشان دهد.

از آنجایی که هندسه مرزها معمولاً ثابت است کسر حجم  $V_f$  و کسر مساحت  $A_f$  نیازی به حرکت یا تغییر با جریان ندارند. وقتی روش VOF با روش FAVOR ترکیب می‌شود، کسر حجم سیال  $F$  بوسیله کسر حجم باز المان یعنی  $V_f$  و نه کسر حجم کل المان تعریف می‌شود. به بیان دیگر اگر  $\Gamma$  حجم المان باشد، حجم واقعی سیال در المان برابر با  $\Gamma(F V_f)$  خواهد بود نه  $F \Gamma$ .

### ۳-۷ تقریبات عددی:

نرم افزار Flow-3D معادلات حاکم بر حرکت سیال را با استفاده از تقریبات حجم محدود حل می‌کند. محیط جریان به شبکه‌های با سلول‌های مستطیلی ثابت تقسیم بندی می‌شود. که برای هر سلول مقادیر میانگین کمیت‌های وابسته وجود دارد. یعنی همه متغیرها در مرکز سلول محاسبه می‌شوند بجز سرعت که در مرکز وجوه سلول حساب می‌شود. موانع منحنی شکل، دیواره‌های مرزی و اشکال

هندسی دیگر، بوسیله تعیین کسر مساحت وجوه و کسر حجم باز به جریان سلول، در شبکه جای می گیرند. (روش FAVOR)

برای هر حجم کنترل مقادیر شارهای سطحی، تنش های سطحی و نیروهای حجمی می توانند بوسیله مقادیر متغیر مجاور محاسبه شوند. سپس این کمیت ها برای اینکه بتوانند شکل گسسته شده قوانین بقا را که توسط معادلات حرکت بیان شده اند، نشان دهند با هم ترکیب می شوند. اکثر جملات در این معادلات با استفاده از روش مقادیر گام های زمانی برای کمیت های مکانی، یعنی صریح، محاسبه می شوند، اگر چه روشهای ضمنی نیز وجود دارند که به همان اندازه خوب هستند. این روش (یعنی صریح) روش ساده ای است که برای بیشتر مسائل کاربرد دارد ولی به یک گام زمانی محدود برای حفظ پایداری محاسباتی و دقت نتایج نیاز دارد. یکی از موارد استثنا روش صریح استفاده از آن در محاسبه نیروهای فشاری معادله مقدار حرکت است. مقادیر فشار و سرعت بطور ضمنی، بوسیله استفاده از فشارهای گسترش یافته در معادلات مومنتم و سرعتهای گسترش یافته زمانی در معادلات پیوستگی جرم با هم درگیر می شوند. این فرمولبندی های شبه ضمنی معادلات گسسته شده باعث می شود که حل پایداری برای مسائل تراکم ناپذیر و سرعت های پایین بدست آید. در روش های شبه ضمنی نتایج با استفاده از ترکیب یک سری از معادلات بدست می آید و توسط روشهای تکراری حل می شود.

روش عددی اصلی که در Flow-3D استفاده می شود. روش دقت مرتبه اول (1st Order) نسبت به افزایش زمان و مکان است. وقتی که شبکه مورد استفاده در روش حجم محدود غیر یکنواخت است می بایست در انتخاب درجه دقت حل عددی توجه کرد، دقت مرتبه دو (2nd Order) در این حالت مناسب تر است. در همه حالات دست کم می توان از دقت درجه یک برای شرایط مرزی استفاده کرد. مثلاً، در سلول هایی که بخشی از سلول توسط مانع اشغال شده است، روش FAVOR معادل با استفاده از درون یابی خطی برای شرایط مرزی در این سلول است.

مدل های آشفتگی مورد استفاده در نرم افزار Flow-3D مورد استفاده قرار می گیرند بدین شرح می باشند:

- 1- Prandtl mixing length
- 2- One-equation transport
- 3- Two-equation k-ε transport
- 4- RNG (renormalized group theory)
- 5- Large eddy simulation

همان گونه که مشاهده می شود تعداد مدل های آشفتگی ارائه شده قابل توجه می باشد که این به علت کاربرد وسیع نرم افزار Flow-3D در زمینه های متفاوت می باشد.

### ۳-۷-۱ مدل طول اختلاط پراندتل:

ساده ترین مدل، مدل طول اختلاط پراندتل است که فرض می شود ویسکوزیته سیال به علت پروسه اختلاط آشفتگی در مناطقی که برش زیادی وجود دارد (مثلا نزدیک مرزهای جامد) افزایش پیدا می کند با این وجود، این حالت زمانی که جریان کاملا توسعه پیدا کرده باشد و نزدیک به یکنواخت باشد واقعی تر است. به طور کلی تر این مدل برای زمانی که لازم است بعضی پروسه های انتقال مانند انتقال و انتشار در مکان و زمان بهتر مدل سازی شوند، به کار می رود. مدل طول اختلاط فرض می کند که تولید و پخش آشفتگی در هر نقطه از جریان در تعادل هستند.

$$P_T + G_T = \epsilon_T \quad (۱۹-۳)$$

که  $P_T$  و  $G_T$  محصولات آشفتگی به ترتیب به علت تاثیرات برش و بویانسی هستند و  $\epsilon_T$  انتشار آشفتگی می باشد به عبارت دیگر، هدایت انتشار و نرخ زمانی تغییرات انرژی آشفتگی نادیده فرض

شده اند. انتشار آشفتگی می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$\epsilon_T = CNU \sqrt{\frac{\nu}{\gamma}} \frac{k_T^{\frac{3}{2}}}{TLEN} \quad (۲۰-۳)$$

که CNU یک پارامتر (۰/۰۹ به طور پیش فرض)  $K_T$  انرژی جنبشی آشفته‌گی و TLEN مقیاس طول آشفته‌گی می باشد و پارامترهایی است که توسط کاربر تعیین می شود. با ترکیب معادلات فوق  $K_T$  بر حسب TLEN و نرخ برش مکانی و گرادیان فشار بر دانستیه محاسبه می شود. سپس  $K_T$  و TLEN برای محاسبه ویسکوزیته سینماتیک آشفته‌گی مورد استفاده قرار می گیرد.

$$v_T = TLEN \sqrt{\frac{2k_T}{3}} \quad (21-3)$$

به علت فرضیات محدود کننده، این مدل نسبت به مدل های انتقال تک معادله ای و دو معادله ای سودمندی کمتری دارد.

### ۳-۷-۲ مدل های انتقال آشفته‌گی:

مدل انتقال آشفته‌گی یک معادله ای، شامل معادله انتقال انرژی جنبشی ویژه در رابطه با تغییرات سرعت آشفته‌گی در جریان (انرژی جنبشی آشفته‌گی) می باشد.

$$k_T = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad (22-3)$$

در این معادله  $u', v', w'$  مولفه های میدان سرعت در جهت های  $x, y, z$  مربوط به نوسانات تلاطم آشفته‌گی می باشد، این معادله انتقال شامل انتقال و انتشار انرژی جنبشی آشفته‌گی می باشد. تولید انرژی جنبشی آشفته‌گی در اثر تاثیرات برش و بویانسی، انتشار و پراکنش در اثر افت های ویسکوزیته، در طی ادی های آشفته‌گی نیز در مدل وجود دارد. محصول بویانسی فقط زمانی اتفاق می افتد که دانستیه غیر یکنواخت در جریان وجود داشته باشد و شامل تاثیر شتاب گرانش باشد. معادله انتقال به

$$\frac{\partial k_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial k_T}{\partial x} + v A_y \frac{\partial k_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial k_T}{\partial z} \right\} = P_T + G_T + Diff_T - \epsilon_T \quad (23-3)$$

صورت زیر است:

که  $K_T$  انرژی جنبشی آشفته‌گی و  $V_F, A_x, A_y, A_z$  توابع FAVOR™ در Flow-3D می باشند و  $P_T$  حاصل انرژی جنبشی آشفته‌گی به صورت زیر می باشد:

$$P_T = C_{SPRO} \left( \frac{\mu}{\rho V_F} \right) \left\{ \begin{aligned} & \left[ \sqrt{A_x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \sqrt{A_y} \left( R \frac{\partial v}{\partial y} + \xi \frac{u}{x} \right)^2 + \sqrt{A_z} \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] \\ & + \left( \frac{\partial v}{\partial x} + R \frac{\partial u}{\partial y} - \xi \frac{v}{x} \right) \left[ A_x \frac{\partial v}{\partial x} + A_y \left( R \frac{\partial u}{\partial y} - \xi \frac{v}{x} \right) \right] \\ & + \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \left( A_z \frac{\partial u}{\partial z} + A_x \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ & + \left( \frac{\partial v}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial y} \right) \left( A_z \frac{\partial v}{\partial z} + A_y R \frac{\partial w}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad (24-3)$$

که C<sub>SPRO</sub> پارامتر آشفتگی است که مقدار بیش فرض آن ۱ می باشد و R و ξ مربوط به سیستم مختصات استوانه ای در صورت استفاده می باشند. ترم محصول بویانسی به صورت زیر می باشد:

$$G_T = -CRHO \left( \frac{\mu}{\rho^3} \right) \left( \frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{\partial P}{\partial x} + R^2 \frac{\partial \rho}{\partial y} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \rho}{\partial z} \frac{\partial P}{\partial z} \right) \quad (25-3)$$

که CRHO پارامتر آشفتگی دیگری است که مقدار بیش فرض آن صفر است و برای مسائل جریانات بویانسی حرارتی باید در حدود ۲/۵ انتخاب شود. ترم انتشار برابر است با:

$$Diff_T = \frac{1}{V_F} \left\{ \begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left( v_k A_x \frac{\partial k_T}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left( v_k A_y R \frac{\partial k_T}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_k A_z \frac{\partial k_T}{\partial z} \right) + \xi \frac{v_k A_x k_T}{x} \end{aligned} \right\} \quad (26-3)$$

که  $v_k$  ضریب انتشار است و براساس مقدار مکانی ویسکوزیته آشفتگی تعیین می شود. پارامتر RMTKE که توسط کاربر تعیین می شود، افزایش دهنده ویسکوزیته مورد استفاده برای محاسبه ضریب انتشار آشفتگی (مقدار بیش فرض برابر با ۱ به جز مدل RNG که دارای ۱/۳۹ می باشد و در زیر توضیح داده می شود) می باشد نرخ پراکنش،  $\epsilon_T$  مربوط به انرژی جنبشی آشفتگی  $K_T$  مانند مدل طول اختلاط پراندتل می باشد.



به صورت پیش فرض Flow-3D مقدار TLEN را برابر با ۰.۷٪ کوچکترین بعد دامنه در نظر می گیرد. پیشنهاد می شود که این مقدار ۰.۷٪ قطر هیدرولیکی انتخاب شود. در جریان لوله ها، برابر با قطر داخلی لوله و در جریان رودخانه ای برابر با عمق آب در رودخانه انتخاب می شود.

یک مدل پیچیده تر و در عین حال کاربردی تر شامل دومعادله انتقال برای انرژی جنبشی  $k_T$  و پراکنش آن،  $\epsilon_T$  است که مدل دو معادله ای نامیده می شود. مدل دو معادله ای  $k - \epsilon$  با تقریب خوبی برای انواع مختلفی از جریان به کار می رود. در این مورد، یک معادله انتقال اضافی برای انتشار آشفتهگی  $\epsilon_T$  باید حل شود:

$$\frac{\partial \epsilon_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial \epsilon_T}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial \epsilon_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \epsilon_T}{\partial z} \right\} \quad (27-3)$$

$$= \frac{CDIS1 / \epsilon_T}{k_T} (P_T + CDIS3 \cdot G) + Diff_{\epsilon} - CDIS2 \frac{\epsilon_T^2}{k_T}$$

در این معادله  $CDIS1$  و  $CDIS2$  و  $CDIS3$  پارامترهای بدون بعد تعدیل پذیر هستند که به وسیله کاربر تعیین می شوند و به ترتیب دارای مقدار پیش فرض ۱/۴۴ و ۱/۹۲ و ۰/۲ برای مدل  $k - \epsilon$  هستند انتشار پراکنندگی  $Diff_{\epsilon}$  برابر است با:

$$Diff_T = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (v_{\epsilon} A_x \frac{\partial \epsilon_T}{\partial x}) + R \frac{\partial}{\partial y} (v_{\epsilon} A_y R \frac{\partial \epsilon_T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (v_{\epsilon} A_z \frac{\partial \epsilon_T}{\partial z}) + \xi \frac{v_{\epsilon} A_x \epsilon_T}{x} \right\} \quad (28-3)$$

مدل آشفتهگی دیگر بر اساس روش گروه نرمال شده، RNG می باشد. این مدل از روش های آماری برای استخراج معادلات متوسط برای کمیت ها آشفتهگی مانند انرژی جنبشی و ترم پراکنش، آن استفاده می کند. مدل RNG از معادلاتی مانند معادله مدل  $k - \epsilon$  استفاده می کند. با این وجود، ثابت هایی که به صورت تجربی در معادلات  $k - \epsilon$  استاندارد استفاده می شود در مدل RNG به صورت صریح استخراج می شوند. به طور کلی، مدل RNG نسبت به مدل  $k - \epsilon$  از کارایی بیشتری برخوردار است واضح است که مدل RNG می تواند جزئیات کوچک جریان و جریان هایی که دارای

مناطق برشی زیاد هستند را با دقت بیشتر توصیف کند. همچنین مقادیر پیش فرض برای CDISI و CNU نسبت به مدل  $k - \varepsilon$  متفاوت می باشد و به ترتیب دارای مقادیر  $1/42$  و  $0.085$  می باشد مقدار CDISI2 با استفاده از ترم های انرژی جنبشی ( $K_T$ ) و محصول آشفستگی ( $P_T$ ) محاسبه می شود.

هدف اصلی هر مدل آشفستگی فراهم کردن مکانیزمی برای تخمین تاثیر نوسانات آشفستگی در کمیت های متوسط جریان می باشد. این تاثیر معمولاً با ترم های انتشار اضافی در معادلات متوسط پیوستگی، مومنتوم و معادله انتقال انرژی که قبلاً توصیف شده بیان می شود. به علت این که آشفستگی انتشار مومنتوم را بالا می برد و ویسکوزیته را نیز افزایش می دهد و هر جایی که ضریب ویسکوزیته دینامیک در معادلات ظاهر می شود، آن را مجموع ویسکوزیته های مولکولی و آشفستگی در نظر می گیریم.

$$\mu = \rho(v + v_T) \quad (29-3)$$

به طور قطع می توان گفت، این مقدار همیشه درست نیست ولی برای سطح بالایی از آشفستگی تقریب خوبی است. مخصوصاً زمانی که ویسکوزیته آشفستگی بسیار بزرگتر از مقدار ویسکوزیته مولکولی باشد. در سطح پایین آشفستگی، کاربرد مدل  $k - \varepsilon$  بدون انجام اصلاحات صحیح نمی باشد.

ویسکوزیته مربوط به آشفستگی با استفاده از یک مدل مفهومی از انتقال مومنتوم ادی های آشفستگی و بقیه کمیت های در حال حرکت به دست می آید. این انتقال، با استفاده از سرعت و مقیاس طولی ادی ها مشخص می شود با استفاده از TLEN که مقیاس طول مشخصه انرژی شامل ادی ها و ریشه دوم انرژی جنبشی آشفستگی  $K_T$ ، که مقیاس سرعت را مشخص می کند، ویسکوزیته سینماتیک آشفستگی،  $v_t$  به صورت زیر می باشد.

$$v_T = TLEN \sqrt{\frac{2k_T}{3}} \quad (30-3)$$

که مانند معادله ای است که در مدل طول اختلاط پراگندل وجود دارد. در مدل دو معادله ای آشفتگی پارامتر ثابت مقیاس طول توسط تابع پراکنش ادی های آشفتگی  $\epsilon_T$  جایگزین می شود و وزیسکوزیته سینماتیک برابر است با:

$$v_T = CNU \frac{k_T^\gamma}{\epsilon_T} \quad (31-3)$$

که CNU ثابتی است که توسط کاربر تعیین می شود (مقدار آن در مدل  $k - \epsilon$  برابر با  $CNU=9\%$  و در مدل RNG  $CNU=0.085$  می باشد).

### ۳-۷-۳ مدل گردابه های بزرگ:

مدل آشفتگی شبیه سازی گردابه های بزرگ LES در تلاش برای مدل سازی پدیده های جوی به وجود آمده است. در این مدل آشفتگی ادی های بزرگ به طور مستقیم محاسبه می شود و ادی های کوچک مدل سازی می شوند. در زمان استفاده از مدل LES مهم است که یاد آوری شود که مدل ضرورتاً سه بعد و وابسته به زمان است. به علاوه، نوسانات باید در ابتدا مشخص شوند و یا از مرزهای ورودی داخل شوند، هر چند در این مدل به علت مش های ریزتر نیاز به GPU بیشتر است، ولی نتایج LES اطلاعات بیشتری را نسبت به مدل های RNG و .. ارائه می دهد. برای مثال، وقتی مدل های LES برای مدل کردن جریان اطراف سازه های بزرگ مورد استفاده قرار می گیرد نه تنها تنش های متوسط باد به دست می آید، بلکه تقریب بزرگی و انحراف معیار نوسانات نیرو مربوط به جریان متلاطم نیز به دست می آید.

در مدل گردابه های بزرگ، تاثیرات آشفتگی های بسیار کوچک برای محاسبه به وسیله یک ویسکوزیته ادی بیان می شود که متناسب با زمان های مقیاس طولی است که اندازه گیری نوسانات سرعت در آن مقیاس انجام می شود برای مقیاس طولی، اسماغورنیسکی (۱۹۶۳) از متوسط ابعاد سلول های شبکه به صورت زیر استفاده کرده است.

$$L = (\delta x \delta y \delta z)^{\frac{1}{3}} \quad (32-3)$$

وی همچنین از مقیاس های نوسانات سرعت با اندازه  $L$  برابر تنش های برشی متوسط استفاده کرد. این کمیت ها در ویسکوزیته ادی سینماتیک در LES ترکیب شده اند.

$$v_T = (cL)^2 \cdot \sqrt{e_{ij}e_{ij}} \quad (3-33)$$

که در این رابطه  $c$  ثابتی است که مقدار بین  $0.1$  تا  $0.2$  دارد و مولفه های تانسور نرخ تنش می باشد. در Flow-3D این ادی ویسکوزیته سینماتیک که در ویسکوزیته دینامیک ترکیب شده است دقیقاً به همان طریقی که در معادلات مدل های انتقال آشفتگی استفاده شده، به کار برده می شود.

### ۳-۸: موارد کاربرد صنعتی نرم افزار Flow-3D:

Flow-3D، می تواند برای موارد و مسائل بفرنج دینامیک سیالات در صنعت و تحقیقات نظیر مسائل هوا و فضا، مسائل مربوط به دریا، مهندسی هیدرولیک و ... مورد استفاده قرار گیرد.

یافتن یک راه حل مناسب عددی جهت پرداختن به مسائل مربوط به هیدرولیک جریان با سطح آزاد از جمله مسائلی است که اهمیت زیادی دارد چرا که برپا نمودن مدل فیزیکی برای حصول نتایج تجربی و آزمایشگاهی کاری وقت گیر و پرهزینه می باشد. در این رابطه نرم افزار Flow-3D یک نرم افزار پر قدرت برای مدل نمودن جریانات مشابه می باشد.

دخول هوا در پرش هیدرولیکی و سرریزها، جریان اطراف پایه پل، تخریب سد، کنترل پرش هیدرولیکی، جریان روی پله، جریان سرریز، جریانات کم عمق، امواج کم عمق و سازه های کنترل جریان و ... از نمونه های کاربردی این نرم افزار در مهندسی هیدرولیک می باشد.

## فصل چهارم:

### مدلسازی عددی و تحلیل نتایج

## ۴-۱ شرح شبیه سازی عددی و بررسی آزمون های مختلف:

### ۴-۱-۱ بخش اول: صحت سنجی:

شبیه سازی عددی الگوی جریان حول الوارهای چوبی تدقیق شده، به منظور شناخت بهتر سازه های کنترل جریان از اهمیت به سزایی برخوردار است. تجربه محققین در زمینه اینگونه شبیه سازی ها نشان داده است که در بین بسته های نرم افزاری موجود نرم افزار Flow 3d قابلیت مناسبی در مدل نمودن این نمونه از جریان دارد.

در این مطالعه به منظور بررسی الگوی جریان در اطراف سازه های الوار چوبی تدقیق شده از نرم افزار Flow 3d (ver. 10.2) استفاده شده است. شبیه سازی عددی در این نرم افزار بر روی مدل آزمایشگاهی Gallisdorfer et al. (2013) صورت گرفته و سپس با ایجاد شرایط مدل سازی عددی متناسب و مشابه با مدل آزمایشگاهی شبیه سازی انجام می شود و پارامترهای هیدرولیکی جریان بر روی این مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

## ۴-۱-۲ معرفی مدل آزمایشگاهی:

مدل آزمایشگاهی گالیسدوفر (Gallisdorfer et al) از تجهیزات مشترک میان دانشگاه بافلوو و آزمایشگاه آکسفورد می باشد. مدل آزمایشگاهی مقیاس شده از مدلی در واقعیت است که در ادامه به روند آن می پردازیم.

نمونه اولیه آزمایشی در رودخانه Big Sioux در شمال آمریکا است که با توجه به کثرت مطالعات صورت گرفته در خصوص کاهش رسوبات معلق و بار مواد غذایی ناشی از گسترش فرسایش و پارامترهای هیدرولیکی در این رودخانه انتخاب شده است.

رودخانه Big Sioux دارای ۶۷۶ کیلومتر طول بوده که از شمال داکوتای جنوبی تا اووا ادامه داشته و دارای حوضه ی آبریز  $24790 \text{ km}^2$  می باشد. حجم دبی سالیانه آن  $12,7 \text{ m}^3/\text{s}$  و دبی آن با دوره ی بازگشت ۱,۵ ( $Q_{1.5}$ ) و ۲,۳۳ ( $Q_{2.33}$ ) سال به ترتیب برابر  $57,5 \text{ m}^3/\text{s}$  و  $94,4 \text{ m}^3/\text{s}$  می باشد. پارامترهای بدست آمده برای مقاطع عرضی که اطلاعات آن ها در دسترس می باشد به طور میانگین به قرار زیر است:

$$(w) \text{ عرض} = 40,5 \text{ (m)}$$

$$(s_s) \text{ شیب سطحی آب} = 0,0004$$

$$(h) \text{ عمق} = 2,2 \text{ (m)}$$

$$(s_b) \text{ شیب بستر} = 0,0047$$

بر اساس  $Q_{1.5}$  و سطح مقطع عرضی میانگین رودخانه، سرعت میانگین  $0,645 \text{ m/s}$  و عدد فرود ۰,۱۲۴ می باشد.

## ۴-۲ تئوری مدل سازی هیدرولیکی:

جهت دستیابی به یک مدل کامل و شبیه سازی شده متناسب با رودخانه نمونه اولیه بایستی مدل از لحاظ ژئومتریکی و دینامیکی مشابه نمونه واقعی باشد.

(yolin.1971; wallerstein et al,1999,2001; Julien,2002; Heller,2011)

از لحاظ ژئومتریکی زمانی که تمام نسبت های اعداد ژئومتریکی نمونه واقعی و آزمایشی مقیاس شده اند شبیه- سازی صورت می گیرد و از لحاظ سینماتیکی این مطلب زمانی به وقوع می پیوندد که طول مسیر رودخانه مدل شده و زمان طی کردن آن متناسب با نمونه واقعی باشد. همچنین از نظر دینامیکی شبیه سازی زمانی رخ می دهد که نیروهای وارد بر مدل متناسب با نیروهای وارد بر نمونه واقعی باشد. در مدل سازی فیزیکی از فلومی شیبدار به عرض ۱,۹ m ، عمق ۰,۵ m و طول ۷ m با دیواره های قائم و دارای جریان چرخشی استفاده شده است. دبی در نظر گرفته شده در مدل سازی فیزیکی  $0,0268 \text{ m}^3/\text{s}$  می باشد که مقدار کمی کمتر از مقدار مورد نیاز برای مشابه سازی با نمونه اولیه می باشد، که علت آن به نظر این است که دبی پمپ های آزمایشگاهی حداکثر برابر با  $0,0268 \text{ m}^3/\text{s}$  بوده که این دبی آزمایشگاهی، دبی با دوره ی بازگشت ۱,۴۸ ساله نمونه واقعی می باشد. Gallisdorfer و همکاران این دبی را به عنوان  $Q_{1.5}$  در نظر گرفته اند.

سه پمپ به صورت موازی استفاده شده است تا بتوانند دبی مورد نظر را فراهم کنند. جهت چرخش جریان از یک لوله ۶ اینچی که جریان را به داخل مخزنی به عرض ۲m ، عمق ۰,۹m ، طول ۰,۹m ، که با سنگ فرش شده است تا بتواند تمام آشفتگی ناشی از پمپ ها را از بین ببرد، منتقل می کند. همچنین از ۱۵ صافی جریان در پایین دست مخزن و در مقابل ورودی فلوم به ابعاد ۰,۲m و ۰,۳۷m و ۱۰ دریچه عمودی قابل تنظیم در خروجی فلوم جهت تنظیم نمودن عمق جریان در فلوم به عرض ۰,۱۶m و ۰,۲۶m نصب شده است.

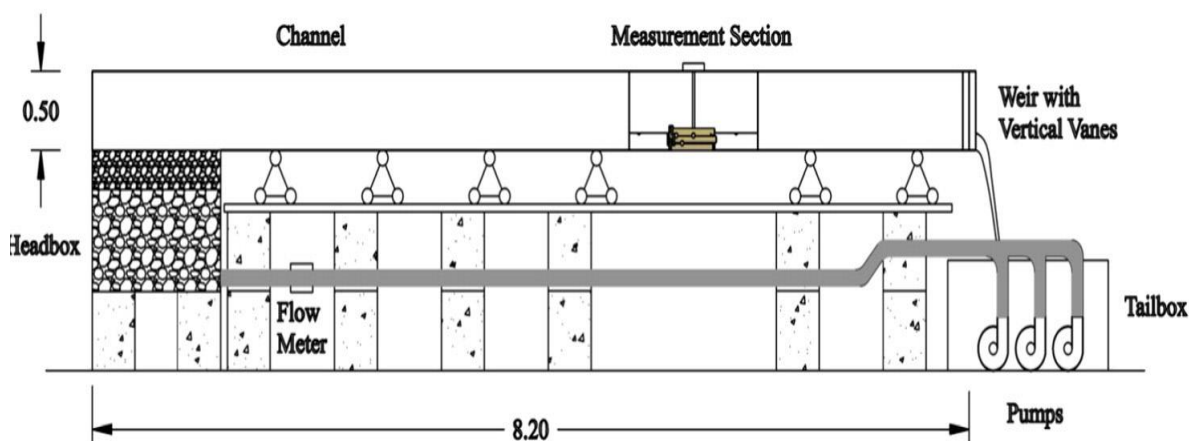
شیب کانال به وسیله یک میله به صورت دستی با دقت  $\pm 1 \text{ mm}$  تنظیم شده است که در مدل فیزیکی برابر  $0,0005$  می باشد.

الوارهای چوبی تدقیق شده نمونه اصلاح شده Elj های بروکس و همکاران (۲۰۰۶) می باشد.

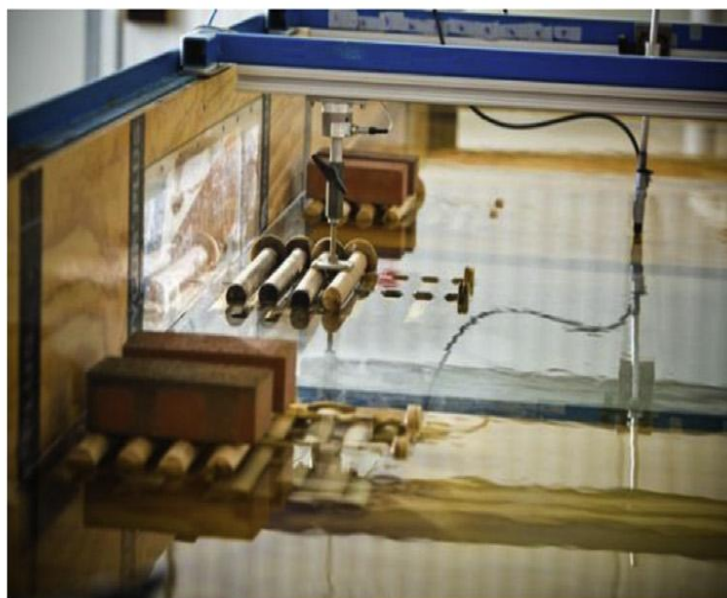
ابعاد المان های به کار رفته به عنوان Elj ها بر اساس نسبت عرض نمونه اولیه و عرض نمونه آزمایشگاهی انتخاب شده است.



سازه با ۲mm فاصله از کف و دیواره فلوم به صورت شناور می باشد. قابل ذکر است که محل قرار گیری ساختار Elj در فاصله ی ۴,۶m از ابتدای کانال می باشد.



شکل ۴-۱: دیاگرام شماتیک فلوم آزمایشگاهی (گالیسدوفر و همکاران، ۲۰۱۳). سه پمپ مخزنی به یک لوله متصل شده است که جریان را از چپ به راست وارد فلوم می نماید. سرعت جریان با استفاده از شاخص درون head box اندازه گیری می شود. از محفظه قلوه سنگ به جهت کمک به تعدیل تلاطم های ناشی از پمپ ها و از دریچه های عمودی به جهت جلوگیری از آشفتگی عمق جریان استفاده شده است. در Measurement Section یک ساختار Elj نصب شده است که بر روی یک لودسل دوماحوره قرار داده شده است. تمام اندازه ها به متر می باشد.



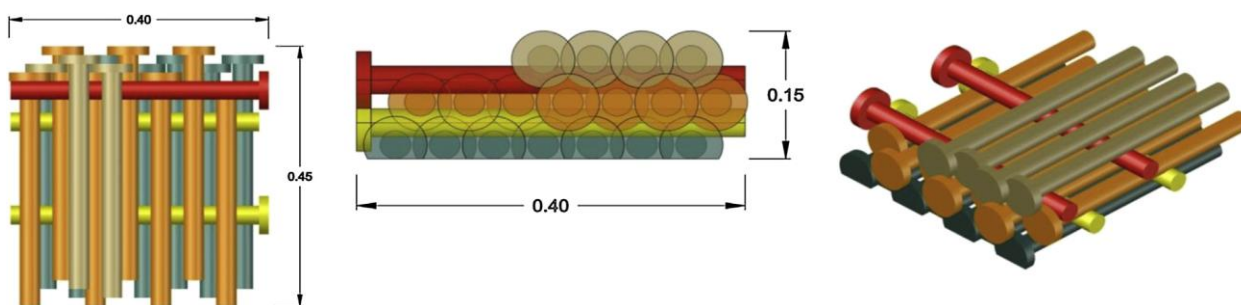
شکل ۴-۲: در عکس فوق نمایی از نزدیک از اتصال ساختار Elj به لودسل و همچنین سه ساختار Elj نصب شده در دیواره سمت چپ فلوم آزمایشگاهی نمایش داده شده است. (سرعت سنج داپلر صوتی در مرکز کانال قرار داده شده است). (عکس از D. Levere).

### ۳-۴ بررسی حالات مختلف شبیه سازی عددی و تشریح مدل عددی :

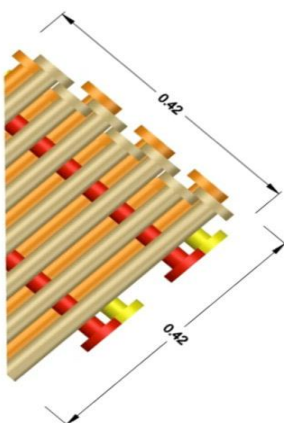
مدل آزمایشگاهی گالیسدوفر و همکاران را در نرم افزار AutoCAD ساخته و با فرمت STL به نرم افزار Flow3d معرفی گردید. ابعاد مدل سه بعدی ساخته شده، مقایسه آن با نمونه اولیه و مدل آزمایشگاهی بطور کامل به همراه پارامترهای هیدرولیکی مربوطه در ادامه ارائه شده است.

هدف اصلی از نصب ساختارهای Elj در طول رودخانه Big Sioux محافظت از دیواره و کناره رودخانه بوده است. در همین راستا دو مدل پیشنهاد شده است. اولین مدل را Elj-1 نامیده که مدل اصلاح شده Deflector متصل به دیواره ارائه شده توسط Brooks (2006) می باشد.

Elj-1 شامل دو ردیف المان با قطرهای متفاوت بسته به نقش و جایگاهشان در سازه می باشد. سازه پیشنهادی دوم Elj-2 نامیده شده و هرچند که نمونه اصلاح شده Deflector ها می باشد ولی شکل آن شبیه به آبشکن ها است.



شکل ۳-۴: ساختار Elj-1. ابعاد به متر می باشد.



شکل ۴-۴: ساختار Elj-2. ابعاد به متر می باشد.

تفاوت طراحی Elj-1 و Elj-2 در تمایل ۴۵ درجه سازه نسبت به پایین دست و جریان ورودی می باشد ولی از لحاظ ابعاد و ملاک های طراحی مشابه به Elj-1 می باشد.

ساخت مدل های Elj-1,2 نیازمند ساده سازی بیشتر است. این مدل کاملاً از المان های مقیاس شده با ابعاد مشخص با اندازه های مختلف ساخته شده است.

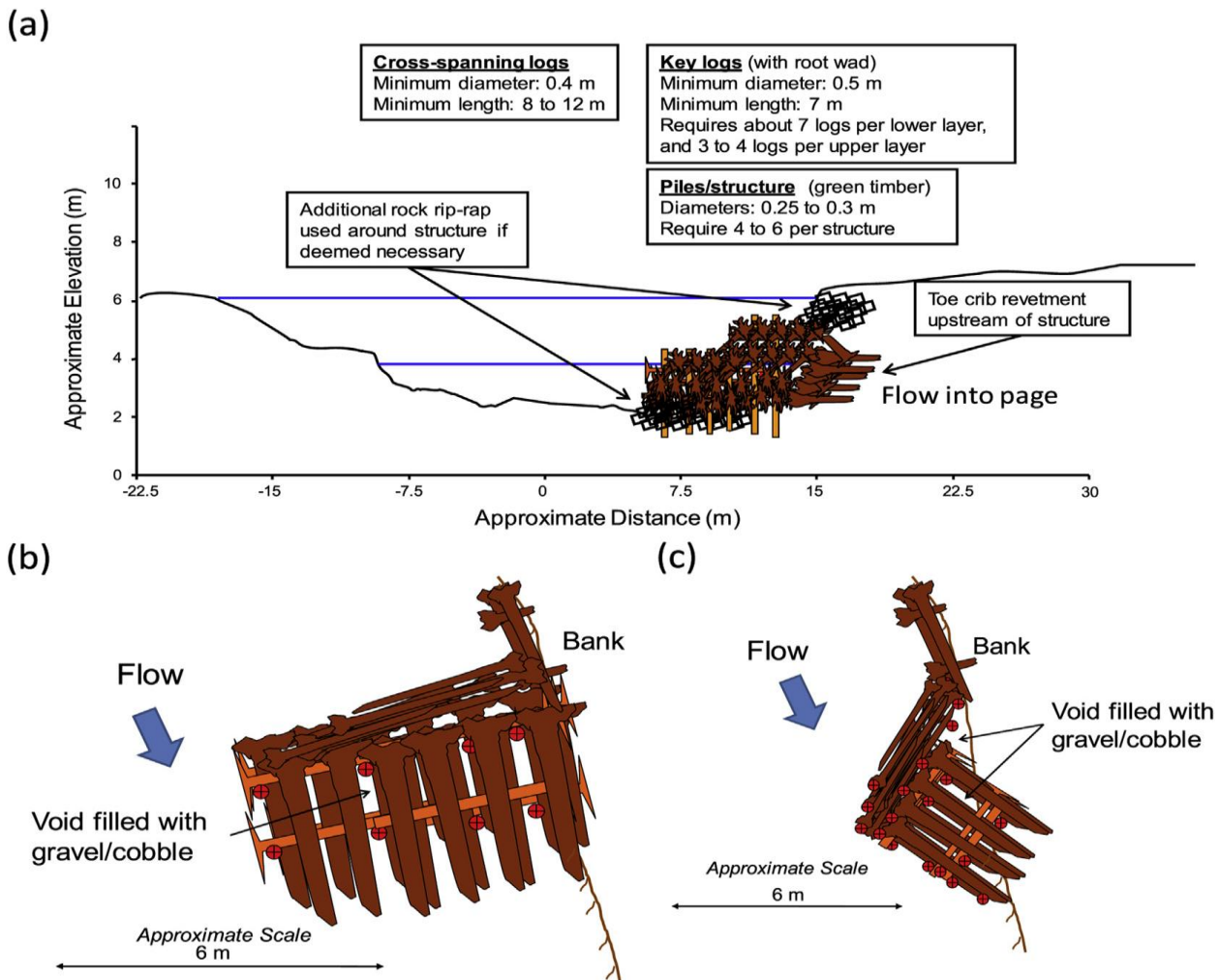
در نمونه اولیه قطر میانگین تنه اصلی  $D_T = 0,78m$  و میانگین طول الوار  $L_T = 9,54m$  و هم چنین میانگین قطر ریشه آن  $RW_T$  برابر  $2D_T$  یا  $1,56m$  است. با تطبیق نسبت مقیاس عرضی  $y_T = 23,8$  برای مدل آزمایشگاهی گالیسدوفر و همکاران ابعاد المان نیز مقیاس شده و برای قطر المان  $D_T = 0,33m$  و  $RW_T = 0,66m$  و  $L_T = 0,401m$  می باشد. ارتفاع حداکثر برای هر دو مدل Elj-1,2،  $0,147m$  است که با جمع کردن ارتفاع هر یک از لایه های المان ها و ارتفاع ریشه ها بدست می آید که متناسب با ارتفاع نمونه اولیه یعنی  $3,49m$  متر می باشد. هریک از ساختارهای Elj-1,2 شامل ۵ لایه المان می باشد. سه لایه المان های اصلی با قطر  $0,032m$  و دو لایه الوارهای کنگره ای (دندانه دار) با قطر مؤثر  $0,019m$  می باشد.

نفوذپذیری Elj-1 در جریان  $0,4m$  در نظر گرفته شده است و نفوذپذیری Elj-2 به علت متمایل بودن  $0,282m$  می باشد که این مقدار در نمونه اولیه به ترتیب  $9,54m$  و  $6,71m$  می باشد.

جدول ۴-۱: خلاصه نسبت های مقیاس و ابعاد المان های ساختار Elj نمونه اولیه وبستر ثابت. اندازه ها به متر می باشد.

پارامترها نماد واحد نمونه اولیه بستر ثابت

ضریب مقیاس عرضی	ضریب مقیاس	المان				پارامترها
واقعی	عرضی هدف	های مدل				
23.8	21.3	0.033	0.78	M	$D_T$	قطر میانگین تنه اصلی
23.8	21.3	0.066	1.56	M	$RW_T$	میانگین قطر ریشه
23.8	21.3	0.401	9.54	M	$L_T$	میانگین طول الوار



شکل ۴-۵: پلان شماتیک پیشنهادی جهت نصب ساختار Elj در رودخانه Big Sioux. (a) نمایش مقطع عرضی اتصال ساختار Elj به دیواره رودخانه. (b) نمایش پلان ساختار Elj-1. (c) نمایش پلان ساختار Elj-2 متصل به دیواره رودخانه.

در انتها قابل ذکر است ابعاد نمونه آزمایشگاهی با توجه به عدم امکان دقت ساخت تا حد بسیار کمی که به نظر تأثیرگذار نمی باشد کالیبره شده، شبیه سازی شده است تا امکان صحت سنجی را فراهم نماید که در جدول زیر مقادیر مربوط به نمونه اولیه، مدل مقیاس شده و مدل کالیبره شده آزمایشگاهی و مدل عددی به صورت مجتمع ارائه شده است.

جدول ۴-۲: خلاصه ابعاد نمونه اولیه و مدل بستر ثابت و پارامترهای هیدرولیکی، شامل نسبت های مقیاس مناسب برای هر مدل و همچنین پارامترهای مدل آزمایشگاهی کالیبره شده. لازم به ذکر است که ستون مربوط به نمونه واقعی مربوط به مدل آزمایشگاهی کالیبره شده و مدل عددی می باشد.

پارامتر	نماد	واحد	بستر ثابت			
			مدل شبیه سازی شده	ضریب مقیاس	مدل طراحی شده	نمونه اولیه
دبی	$Q$	$m^3s^{-1}$	0.0268	1907	0.0268	51.1
عرض فوقانی کانال	$w_T$	$M$	1.9	21.3	1.9	40.5
عرض تحتانی کانال	$w_B$	$M$	1.9	21.3	1.9	40.5
عمق	$h$	$M$	0.11	20	0.11	2.2
سرعت	$v$	$m.s^{-1}$	0.128	---	0.125	0.574
شیب بستر	$S_B$	---	0.0005	0.94	0.0006	0.00047
عمق هیدرولیکی	$Y_h$	$M$	0.11	---	0.11	2.2
عدد فرود	$Fr$	---	0.124	1	0.124	0.124
عدد رینولدز	$Re$	---	$10^4$	---	$10^4$	$10^6$
شعاع هیدرولیکی	$R$	$M$	0.099	20.1	0.099	1.98
ضریب زبری مانینگ	$N$	$sm^{-1/3}$	0.059	---	0.042	0.059
زاویه دیواره	$A$	$Deg$	90	---	90	90
تنش برشی بستر	$\tau_0$	$Pa$	0.48	---	0.58	8.96
اندازه ذرات بستر	$D_{50}$	$Mm$	---	---	---	0.08-0.1

همانطور که در جدول فوق نمایش داده شده است تقریباً تمامی پارامترهای اندازه گیری شده با پارامترهای طراحی به جز سرعت جریان دقیقاً برابر هستند. سرعت جریان ۲٪ کمتر و تنش برشی بستر نیز ۲۰٪ بیشتر از مقدار طراحی خود می باشد که مقادیر بزرگتر شیب بستر و تنش برشی ناشی از مشکلات نصب دستی و در نتیجه کمی مایل تر بودن فلوم است.

## ۴-۴ حساسیت سنجی و کالیبراسیون مدل عددی:

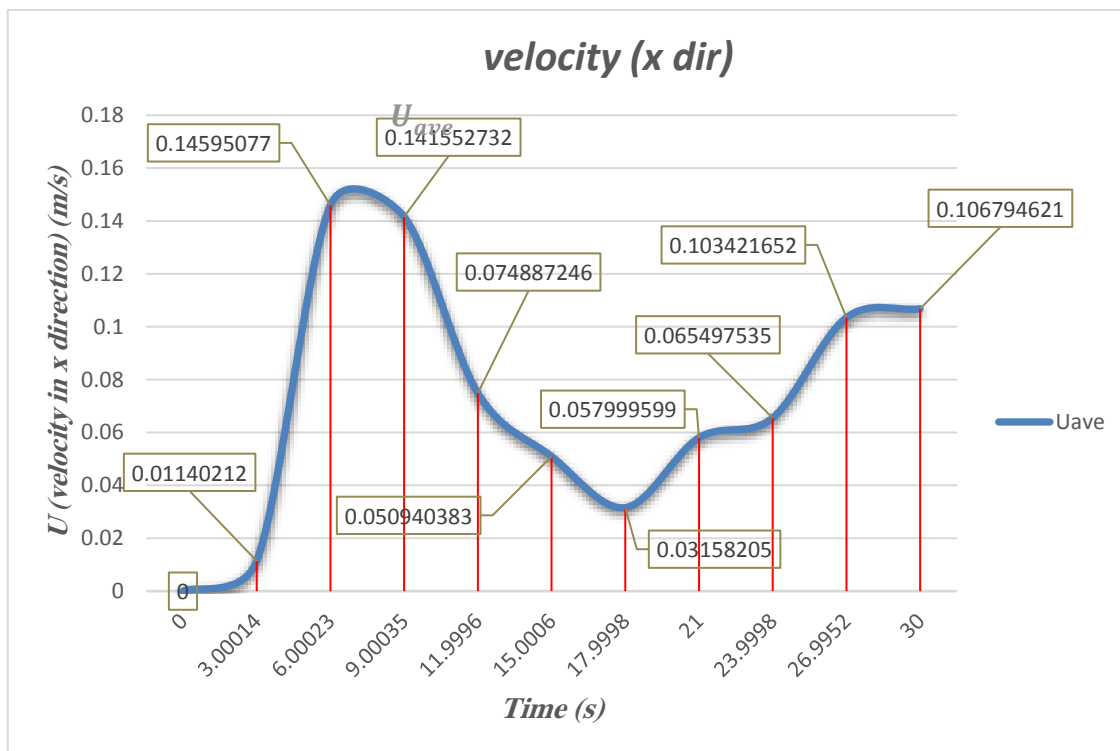
### ۱-۴-۴ کالیبراسیون مدل عددی:

مقدمه:

اولین قدم در یک مدل عددی کالیبره کردن مدل می باشد، بدین معنی که تأثیرات عوامل خارجی را به حداقل رسانده و شرایط مدل را به شرایط واقعی نزدیک تر کرد. با توجه به اینکه مدل عددی حاضر از روی مدل آزمایشگاهی گالیسدوفر و همکاران ایجاد شده است پس با یک مدل کالیبره شده آزمایشگاهی رو به رو هستیم. آنچه در اینجا مطرح می شود کالیبره کردن مدل عددی از لحاظ شرایط مرزی و زمان شبیه سازی می باشد.

### ۲-۴-۴ زمان شبیه سازی:

برای استخراج مقادیر درست داده های یک مدل عددی یا آزمایشگاهی، رسیدن حالت جریان به یک شرایط پایدار ضروری می باشد. در مدل عددی حاضر پس از بررسی چند مدل، زمان مناسب برای اجرای مدل ۳۰ ثانیه انتخاب گردید. در شکل زیر می توان مقادیر سرعت متوسط در راستای x را در بازه های زمانی مختلف در ۹,۵cm پایین تر از ساختار Elz مشاهده نمود. همان طور که از نمودار زیر مشخص است جریان از حدود ثانیه ۲۷ به بعد به حالت پایدار خود می رسد، لذا مدت زمان ۳۰ ثانیه جهت شبیه سازی به نظر مناسب می آید.



شکل ۴-۶: نمودار تغییرات سرعت متوسط در راستای محور X در برابر زمان در پایین دست ساختار ELJ-1 جهت تعیین زمان مناسب جهت شبیه سازی.

## ۴-۴-۳ حساسیت سنجی:

حساسیت مدل های عددی به شبکه بندی و انفصال میدان حل همواره یکی از مسائل مهم در مدل های عددی بوده است. در همین زمینه الگوهای شبکه بندی مختلفی ارائه شده است که هر کدام دارای نقاط ضعف و قوت می باشد. Flow 3d نسبت به مؤلفه های جامد و شبکه بندی، نحوه برخورد نسبتاً متفاوتی با سایر بسته های دینامیک سیالات محاسباتی دارد.

## ۴-۴-۳-۱- روش کسر مساحت - حجم مانع (FAVOR) و برخورد آن با

### ساختار مدل شده:

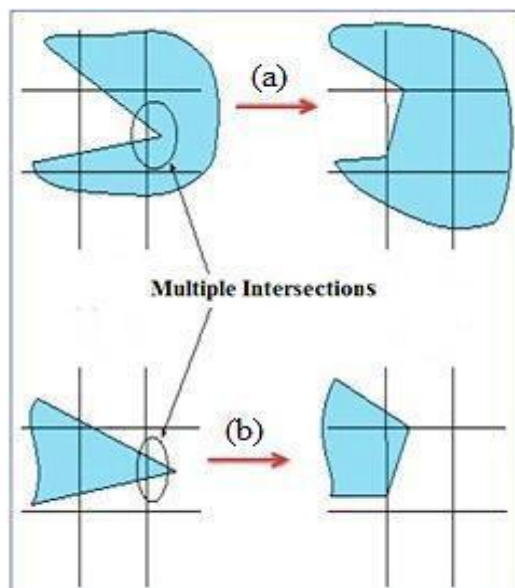
برای شبیه سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزهای هندسی کاربرد دارد. هندسه مساله به وسیله محاسبه کسر مساحت وجوه و کسر حجم هر المان برای شبکه که به وسیله موانعی محصور شده اند تعریف می شود.

همانطور که کسر حجم سیال موجود در هر المان شبکه برای قرارگیری سطوح سیال مورد استفاده قرار می گرفت. کمیت کسر حجم دیگری برای تعیین سطوح صلب مورد استفاده قرار می گیرد. اساس این روش بر این مبناست که الگوریتم های عددی بر مبنای اطلاعاتی شامل فقط یک فشار، یک سرعت، یک دما و ... برای هر حجم کنترل می باشد که این با استفاده از مقادیر زیادی از اطلاعات برای تعریف هندسه متناقض است. بنابراین روش FAVOR المان های ساده مستطیلی را حفظ می کند، در صورتیکه می تواند اشکالی با هندسه پیچیده در حد سازگاری با مقادیر جریان میانگین گیری شده را برای هر المان نشان دهد.

در این روش شکل نهایی موانع به شدت به شبکه ساخته شده در اطراف آن ها بستگی دارد. اگر سطح مانع دارای لبه های تیز، مقعر یا محدب باشد، ممکن است محل تقاطع چندگانه به وجود آید، که این حالت هنگامی رخ می دهد که یک پاره خط شبکه بیش از یک بار توسط مانع قطع شود. در این مورد

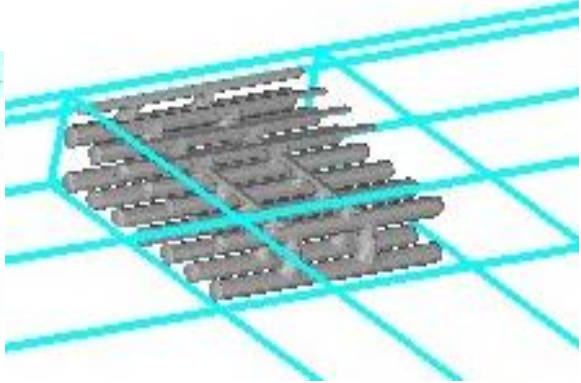
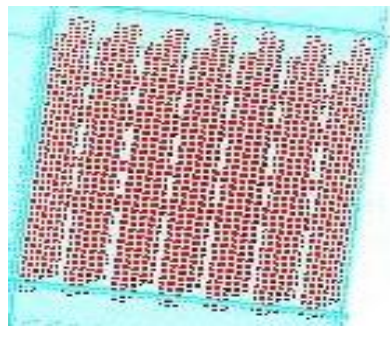
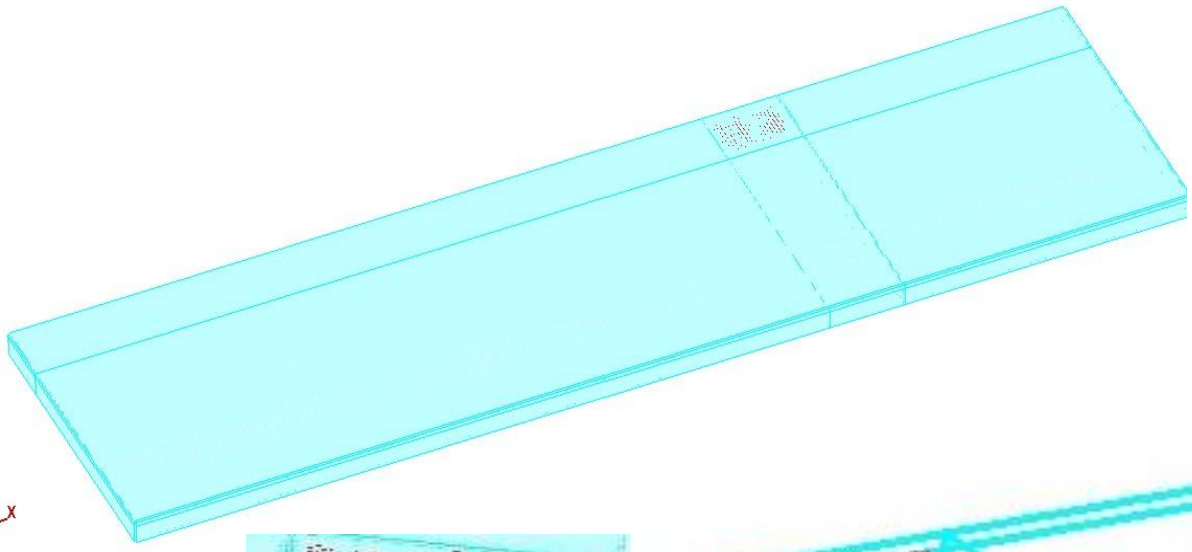


فرض می شود که سلول یا از داخل پر شود مانند آنچه در شکل (a-۷-۴) نشان داده شده است یا از خارج به گونه ای خارج شود که هر پاره خط شبکه را فقط یکبار قطع کند. شکل (b-۷-۴)

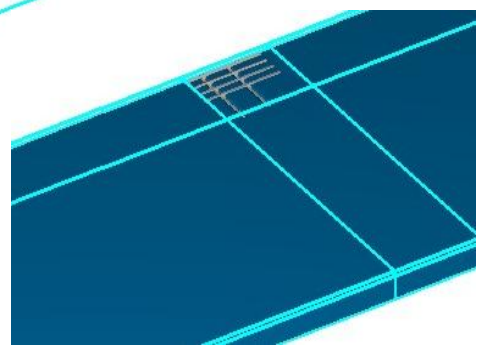
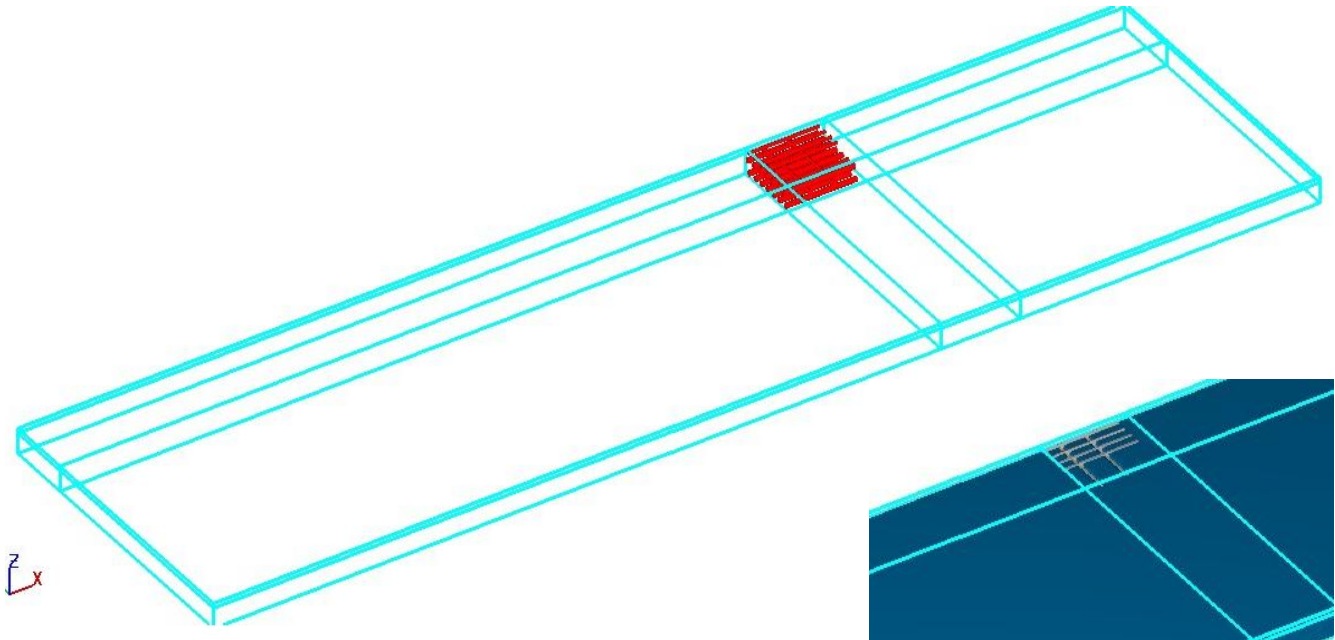


شکل ۷-۴: تغییر شکل موانع به دلیل تقاطع چندگانه در شبکه بندی flow-3d.

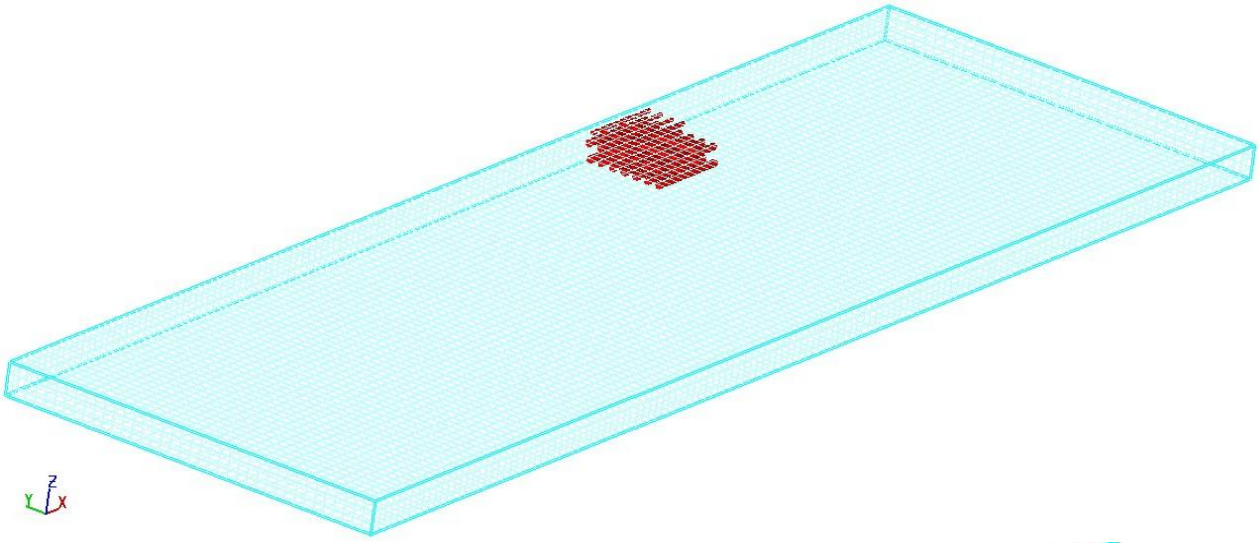
برای مشخص کردن حدود شبکه بندی بلوک هایی مشخص می شود که کلیه اندازه های سازه مورد نظر و فضای آزاد در داخل آن تعریف می شود، می توان تمام جزئیات مورد نظر را در یک بلوک هم در نظر گرفت. در شکل های زیر نشان داده شده است که مدل عددی و روش Favor چگونه برخوردی با موانع و مؤلفه های صلب، در شبکه بندی های گوناگون دارد.



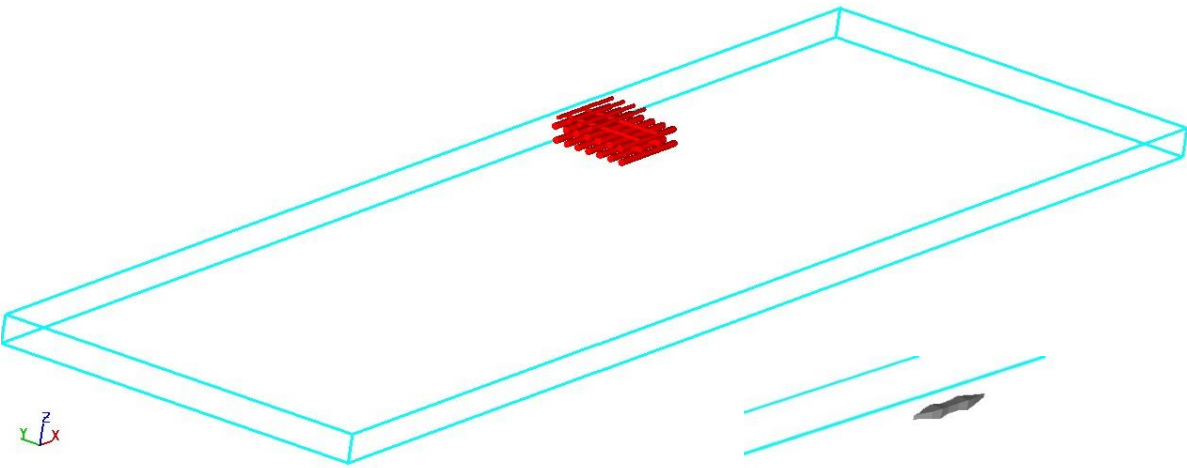
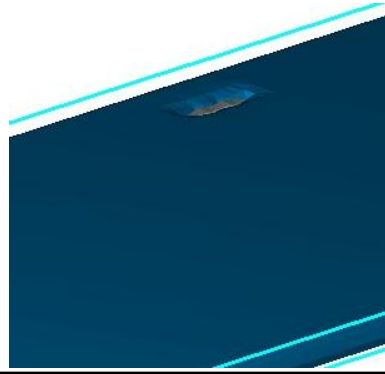
الف



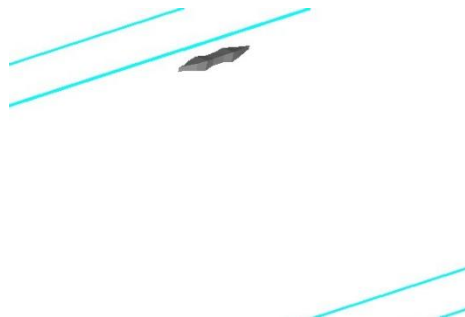
ب.



2



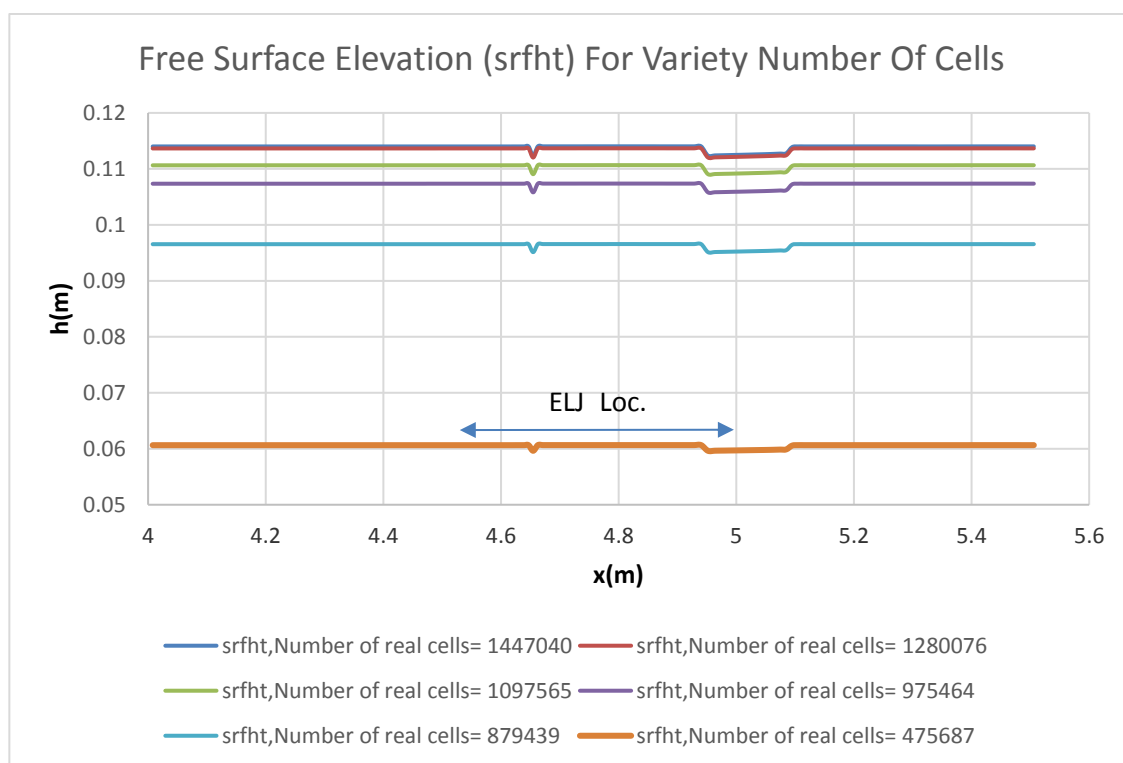
5



شکل ۴-۸:

الف و ب) شکل‌های مربوط به تعداد مش مناسب با دقت و ابعادی که خروجی Favor نرم افزار مناسب بوده و المانهای ساختار سازه کنترل کننده جریان را به طور کامل مدل و درک نموده است.  
 ج و د) شکل‌های مربوط به تعداد مش نامناسب با دقت و ابعادی که خروجی Favor نرم افزار نامناسب بوده و المانهای ساختار سازه کنترل کننده جریان را به طور کامل مدل و درک ننموده است به طوری که در شکل د تنها قسمت کوچکی از ساختار را نرم افزار مدل کرده است.

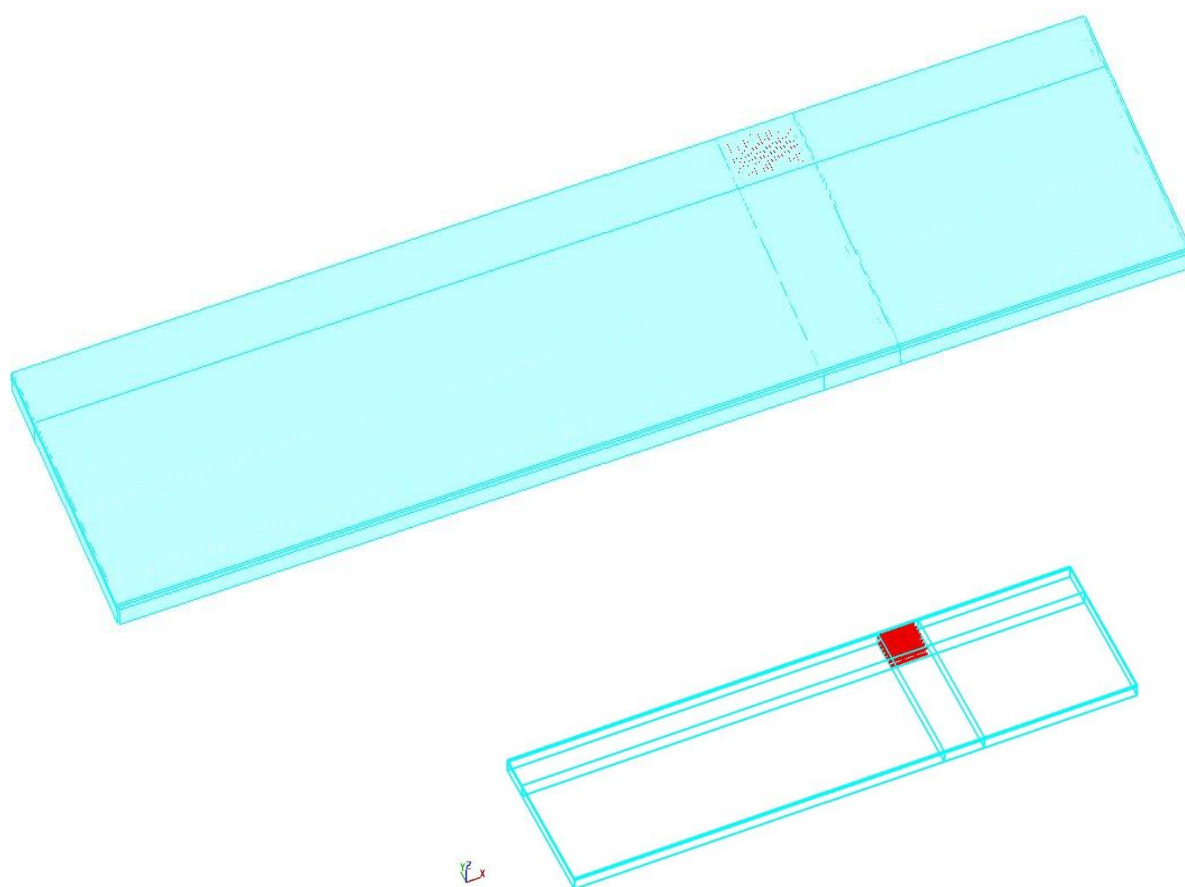
در نمودار زیر به بررسی حساسیت خروجی نرم افزار به ابعاد مش های محاسباتی پرداخته ایم و همانطور که در نمودار قابل مشاهده است همگرایی نرم افزار قابل رویت بوده به طوری که از ۱۲۸۰۰۷۶ تعداد مش بیشتر تفاوت محسوسی در مورد خروجی سطح آب احساس نمی شود و خروجی مربوط به ۱۴۴۷۰۴۰ تعداد مش با خروجی قبلی تفاوت بسیار ناچیزی داشته لذا ریز تر کردن ابعاد و افزودن تعداد مش های محاسباتی به نظر لازم نیست و تنها باعث افزایش بی دلیل حجم و زمان محاسبات می گردد.



شکل ۴-۹: نمودار آنالیز حساسیت مش جهت دقت محاسبات نرم افزار. (در بازه ۴ تا ۵٫۶ متری از ابتدای کانال تراز سطح آزاد جریان (h) ارائه شده است.)

پس از مباحث فوق می توان نتیجه گرفت که ایجاد مرزهای جامد مناسب در شبکه بندی مدل عددی، به خصوص در مدل هایی با هندسه ی پیچیده (مانند مدل در دست بررسی)، بزرگترین محدودیت می باشد و انتخاب مناسب آن می تواند دقت محاسبات را بیافزاید.

در شکل های زیر الگوهای مختلف شبکه نشان داده شده است، که الگوی اول به دلیل استفاده از یک بلوک محاسباتی و فضای زاید محاسباتی کمتر جهت توسعه مدل عددی انتخاب شده است.



Total number of real cells

1447040

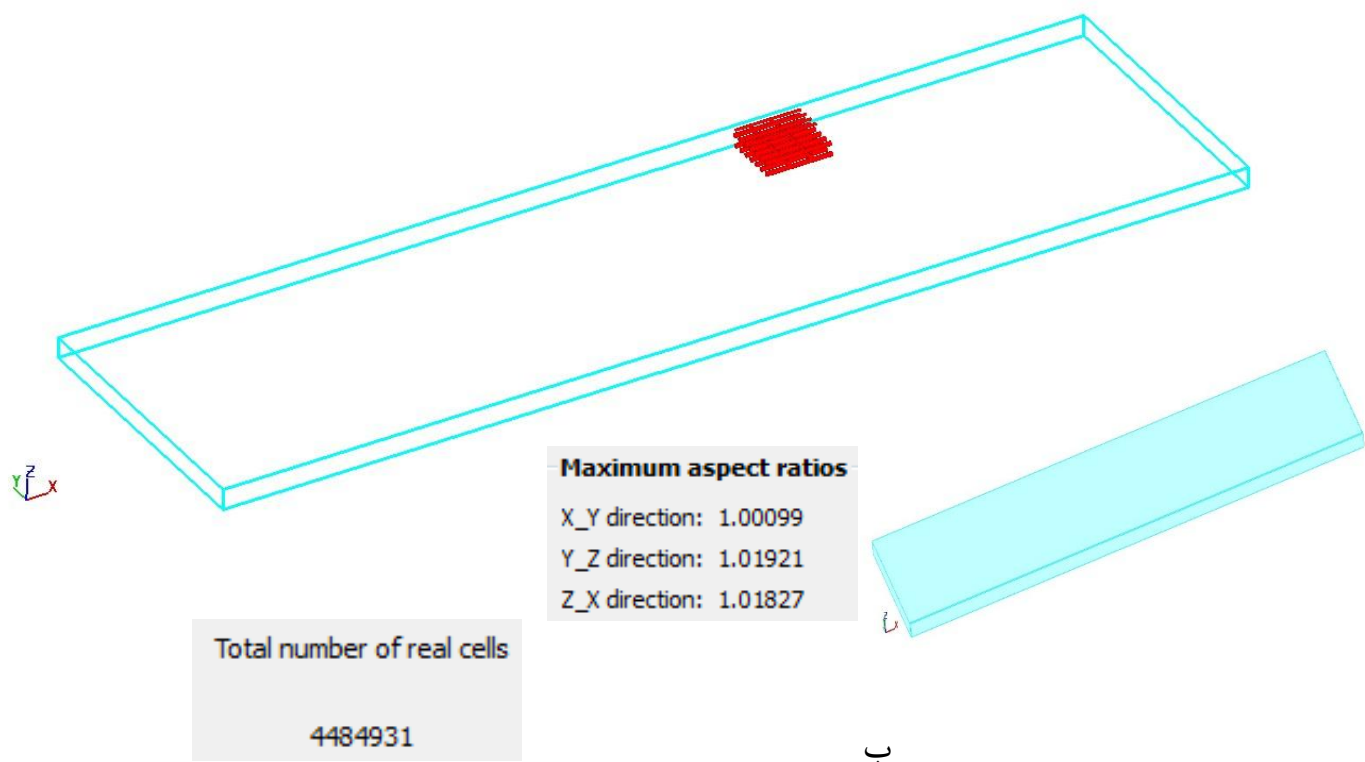
**Maximum aspect ratios**

X\_Y direction: 2.85716

Y\_Z direction: 1.75325

Z\_X direction: 2.66667

الف



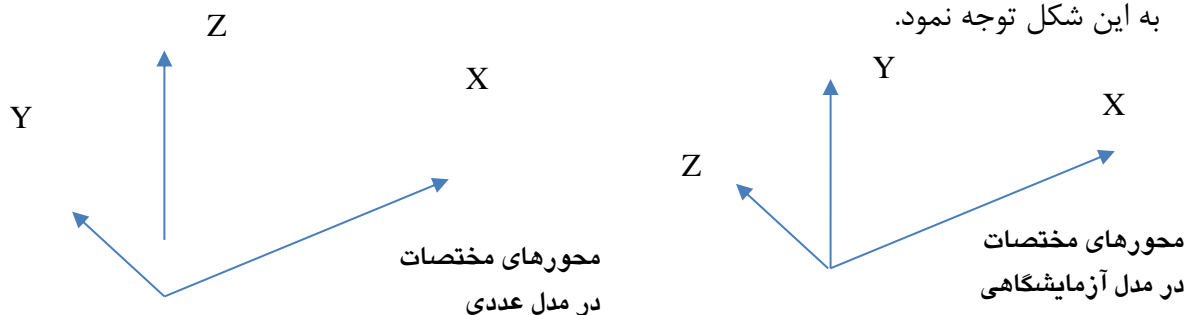
ب

شکل ۴-۱۰:

الف) الگوی مش بندی محاسباتی غیر یکنواخت تک بلوکه (و یا چند بلوکه یکنواخت) (ب) الگوی مش بندی محاسباتی یکنواخت تک بلوکه طبق راهنمای نرم افزار Flow3D در صورتی که ضرایب ارائه شده در شکل‌های الف و ب کمتر از ۳٫۲۵ باشد، می توان از خطاهای ناشی از مش بندی غیر یکنواخت صرف نظر نمود.

با توجه به تفاوت جهات محورهای مختصات در مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مقایسه بین آنها در شکل زیر ارائه شده است. قابل ذکر است که در نتایج آزمایشگاهی و عددی ارائه شده در ادامه بایستی

به این شکل توجه نمود.



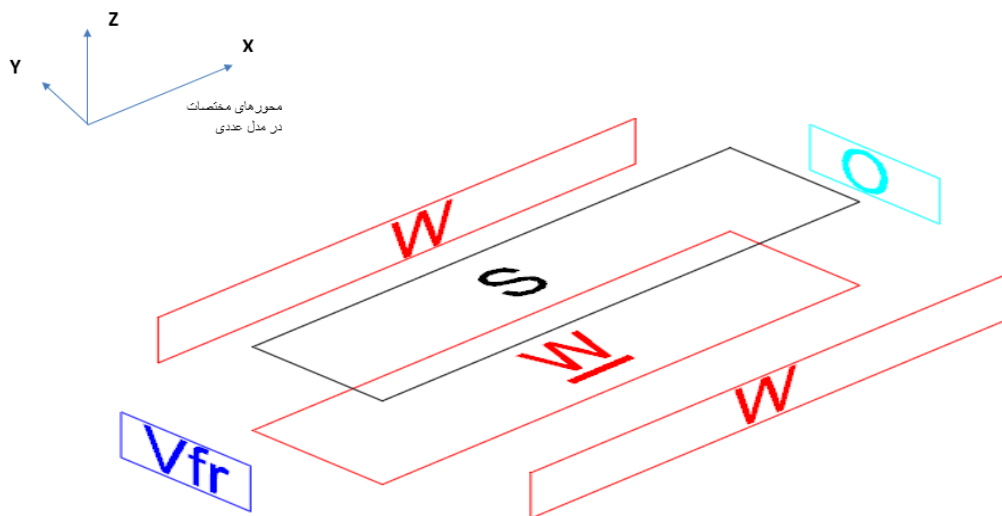
شکل ۲-۱۱: نمایش جهات محورهای مختصات در مدل عددی و آزمایشگاهی. (در ادامه منظور از  $h$  عمق جریان (راستای ۰٫۵ متری فلوم)،  $B$  عرض کانال (راستای ۱٫۹ متری فلوم) و  $X$  موقعیت مکانی در راستای طول فلوم (۷ متر) می باشد.)

## ۴-۴-۴ شرایط مرزی:

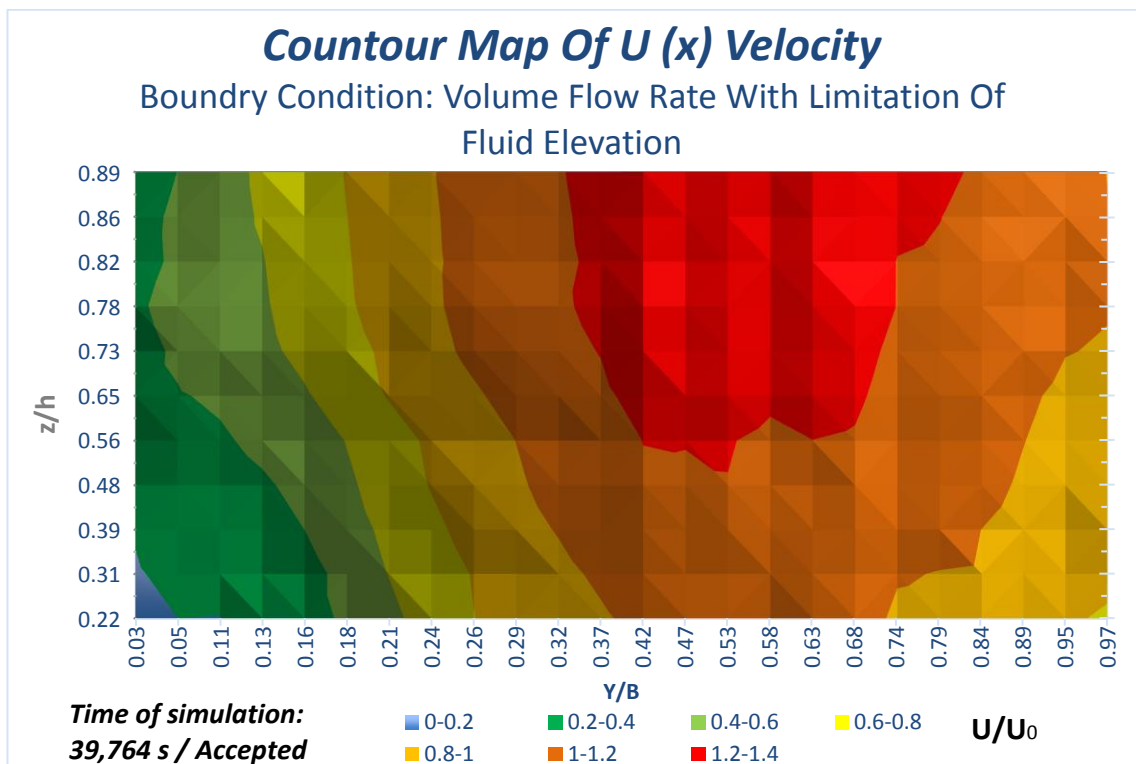
در ابتدای آبراهه شرط مرزی دبی ورودی استفاده شده است که ویژگی این شرط مرزی این است که می توان دبی معینی را از آن عبور داد. برای انتهای کانال از مرز جریان خروجی استفاده شده است. برای سطح فوقانی آبراهه (سطح آب) شرط مرزی متقارن و اما در خصوص مابقی مرزها شرط دیواره اعمال شده است. مهم ترین شرط مرزی، شرط مرزی ورودی آبراهه یا  $x_{min}$  می باشد. شرایط مرزی این وجه با سعی و خطا به صورت زیر می باشد.

در این راستا دو گروه شرایط مرزی اعمال گردید. در گروه اول از شرایط مرزی دبی ورودی بدون ایجاد محدودیت در خصوص ارتفاع اولیه سیال و در گروه دوم نیز از شرط مرزی دبی ورودی به همراه محدودیت ارتفاع اولیه ی سیال fluid elv استفاده شده است.

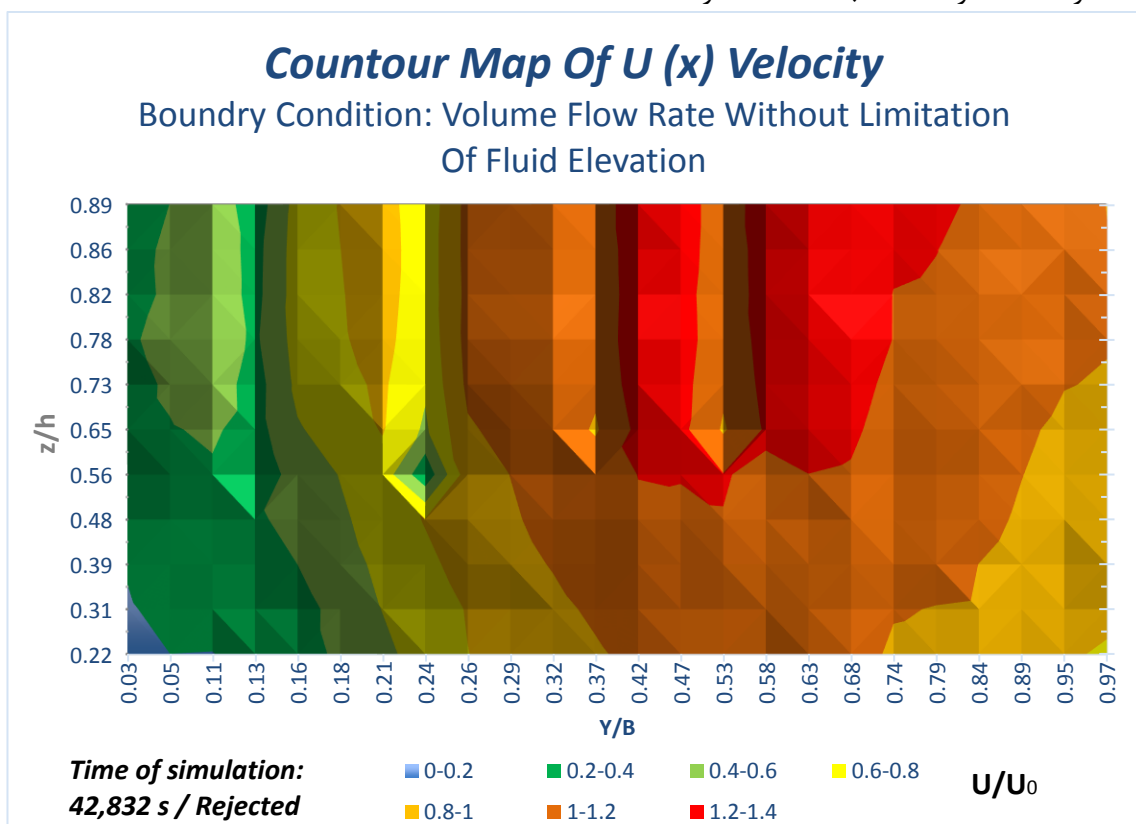
با توجه به نمودارهای زیر متوجه می شویم که شرط مرزی گروه دوم علاوه بر اینکه دارای زمان شبیه سازی کمتری می باشد دیاگرام سطحی سرعت در راستای محور x آن تطابق بیشتری به نسبت شرط مرزی گروه اول با واقعیت و نتایج آزمایشگاهی دارد لذا در ادامه روند مدلسازی از این شرط مرزی استفاده شده است.



شکل ۴-۱۲: شرایط مرزی اعمال شده بر مدل عددی.

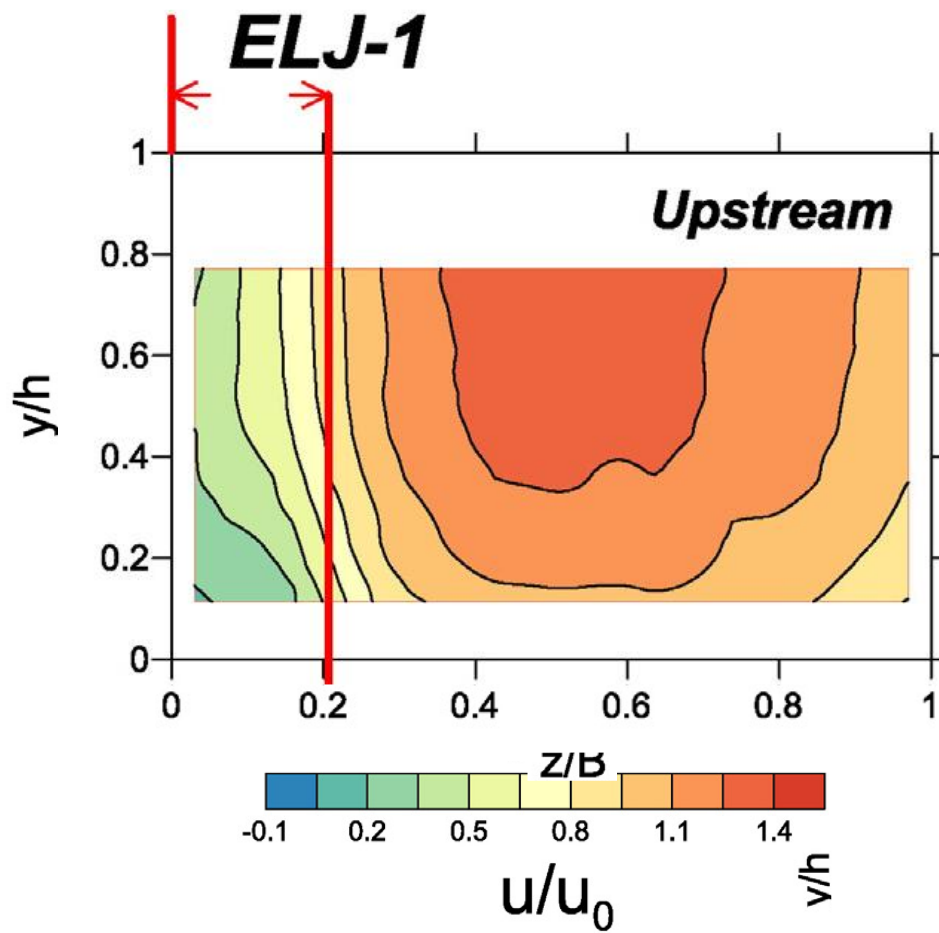


شکل ۴-۱۳: دیاگرام سطحی سرعت در راستای محور  $X$  با شرط مرزی VFR به همراه محدودیت ارتفاع در حضور ساختار ELJ-1 در ۹,۵ cm بالادست ساختار.



شکل ۴-۱۴: دیاگرام سطحی سرعت در راستای محور  $X$  با شرط مرزی VFR بدون در نظر گرفتن محدودیت ارتفاع در حضور ساختار ELJ-1 در ۹,۵ cm بالادست ساختار.

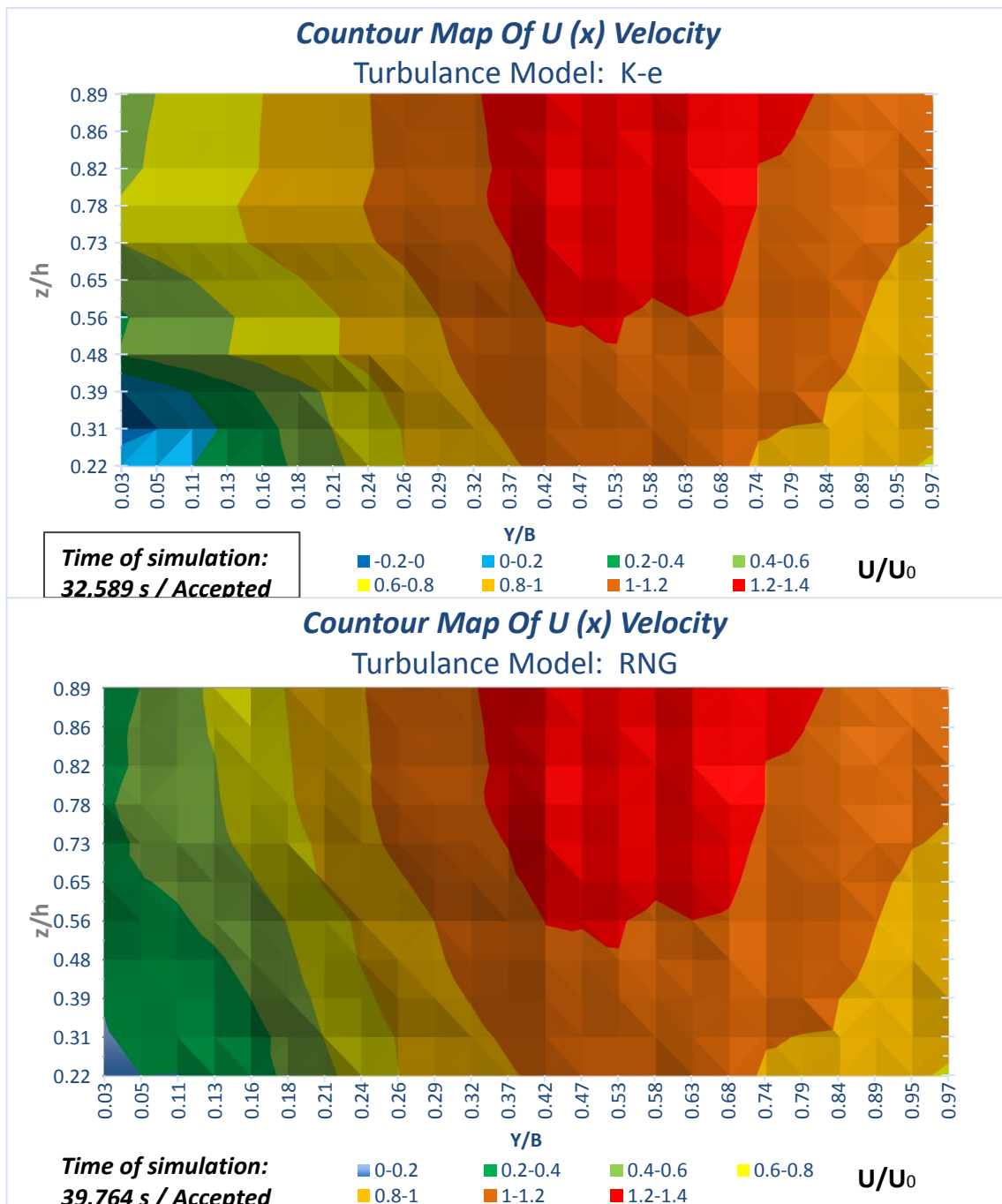




شکل ۴-۱۵: خروجی آزمایشگاهی دیاگرام سطحی سرعت در راستای محور X در حضور ساختار ELJ-1 در ۹,۵ cm بالادست ساختار.

## ۴-۴-۵ تأثیر مدل های آشفتگی:

در تمامی آزمون هایی که تا به حال صورت گرفته از مدل آشفتگی RNG جهت حل شبیه سازی ها استفاده شده است، اما در این آزمون جهت بررسی تأثیر مدل آشفتگی از مدل آشفتگی K-e استفاده شد و نتایج حاصله را با مدل RNG مقایسه کردیم.



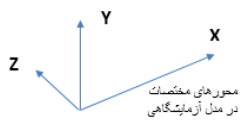
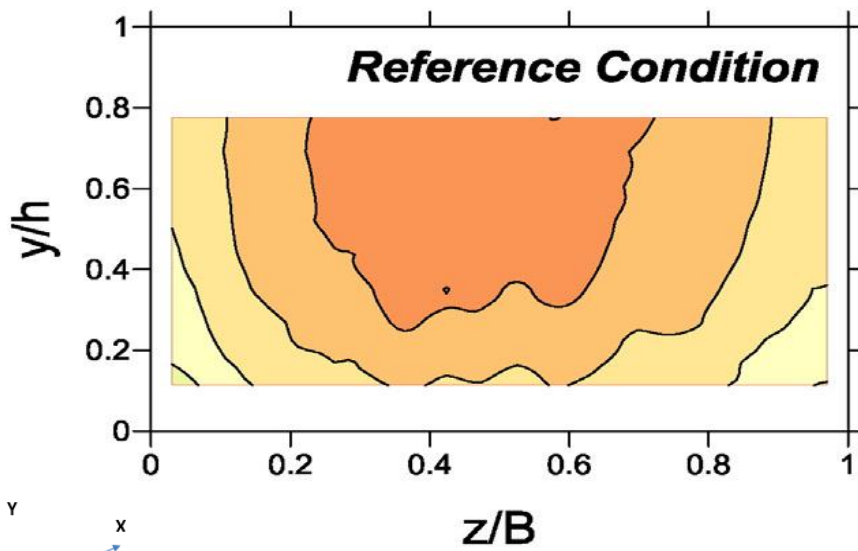
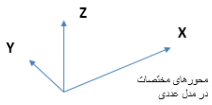
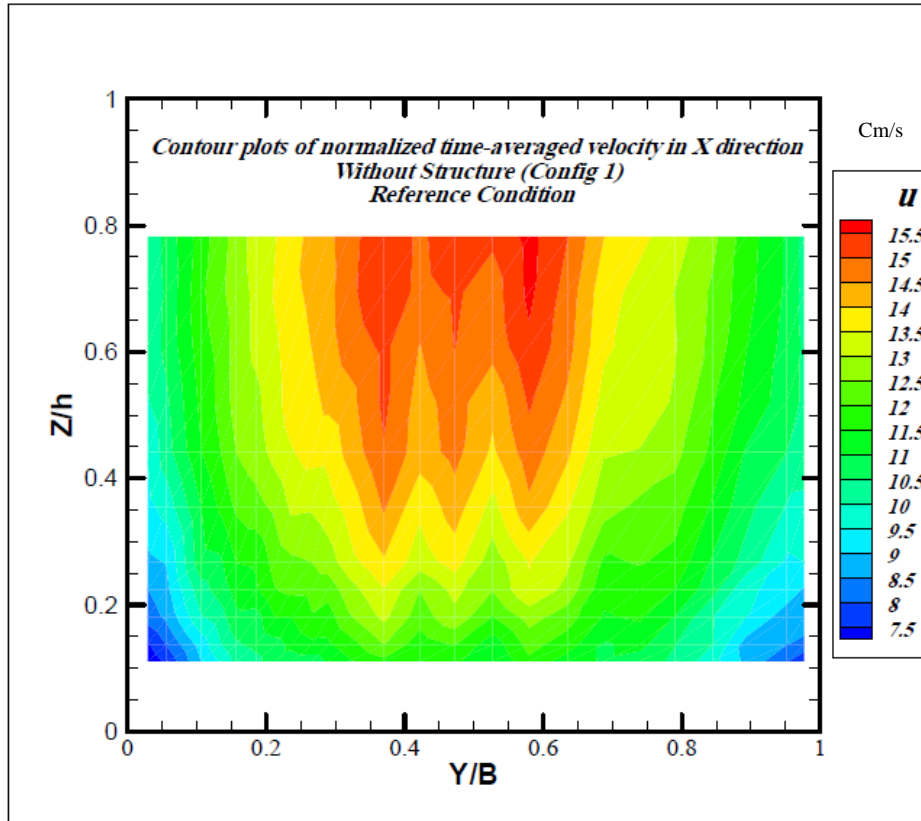
شکل های ۴-۱۶ و ۴-۱۷: مقایسه تاثیر مدل آشفتگی در مدل سازی عددی در حالت ۹,۵ سانتیمتر بالادست سازه Elj1

همان طور که در نمودارهای فوق مشاهده می کنیم استفاده از مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  باعث کاهش مدت زمان شبیه سازی شده اما با توجه به مقایسه نتایج مدل عددی (شکل ۴-۱۶ و ۴-۱۷) با مدل آزمایشگاهی (شکل ۴-۱۵) می توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل از مدل RNG دارای دقت بالاتر، قابل اعتمادتر و انتخاب مناسب تری جهت مدل سازی عددی است. هرچند که این موضوع بارها در مواردی همچون مقایسه رستمی (۱۳۸۶) که بین مدل های آشفتگی نرم افزار Flow 3d انجام داده بود به اثبات رسیده است.

#### ۴-۴-۶ صحت سنجی :

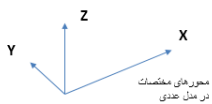
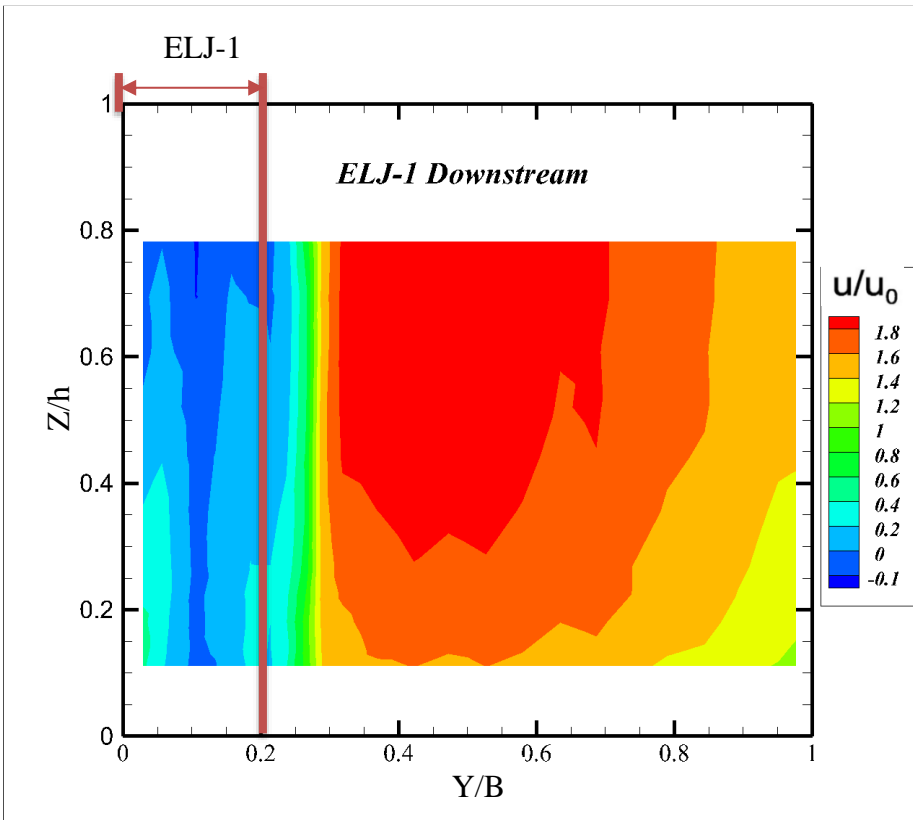
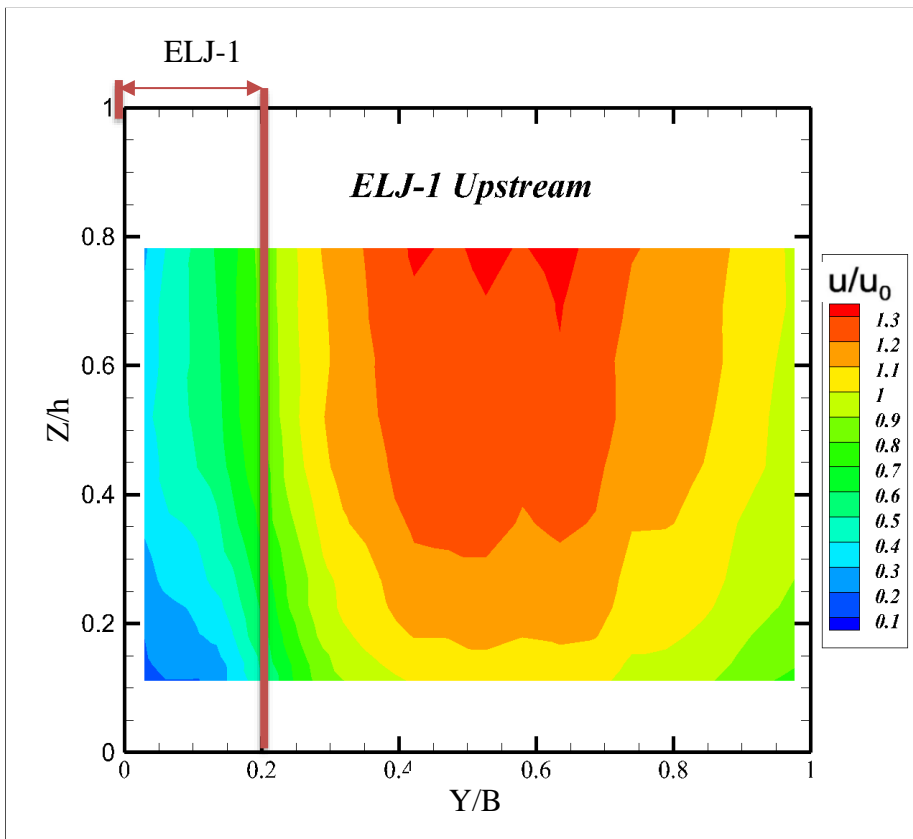
پس از کالیبراسیون مدل عددی در راستای ادامه روند تحقیق ابتدا نیاز به صحت سنجی نتایج خروجی مدل کالیبره شده عددی خود با نتایج آزمایشگاهی داریم. در این خصوص نمودارهایی در ادامه ارائه شده است که صحت سنجی مدل عددی را اثبات می کند. قابل ذکر است محل اندازه گیری داده ها در جهت مقایسه میان مدل عددی و آزمایشگاهی در حضور یک سازه ی El z دو مقطع عرضی برای اندازه گیری به فاصله ی ۰,۸۳h بالادست و پایین دست ساختار انتخاب شده است. به جهت صحت سنجی مدل عددی، ابتدا دیاگرام سطحی سرعت در راستای x را در حالت بدون سازه و با حضور ساختار - El z ۱,۲ در مدل عددی با مدل آزمایشگاهی گالیسدوفر و همکاران مقایسه کرده ایم.

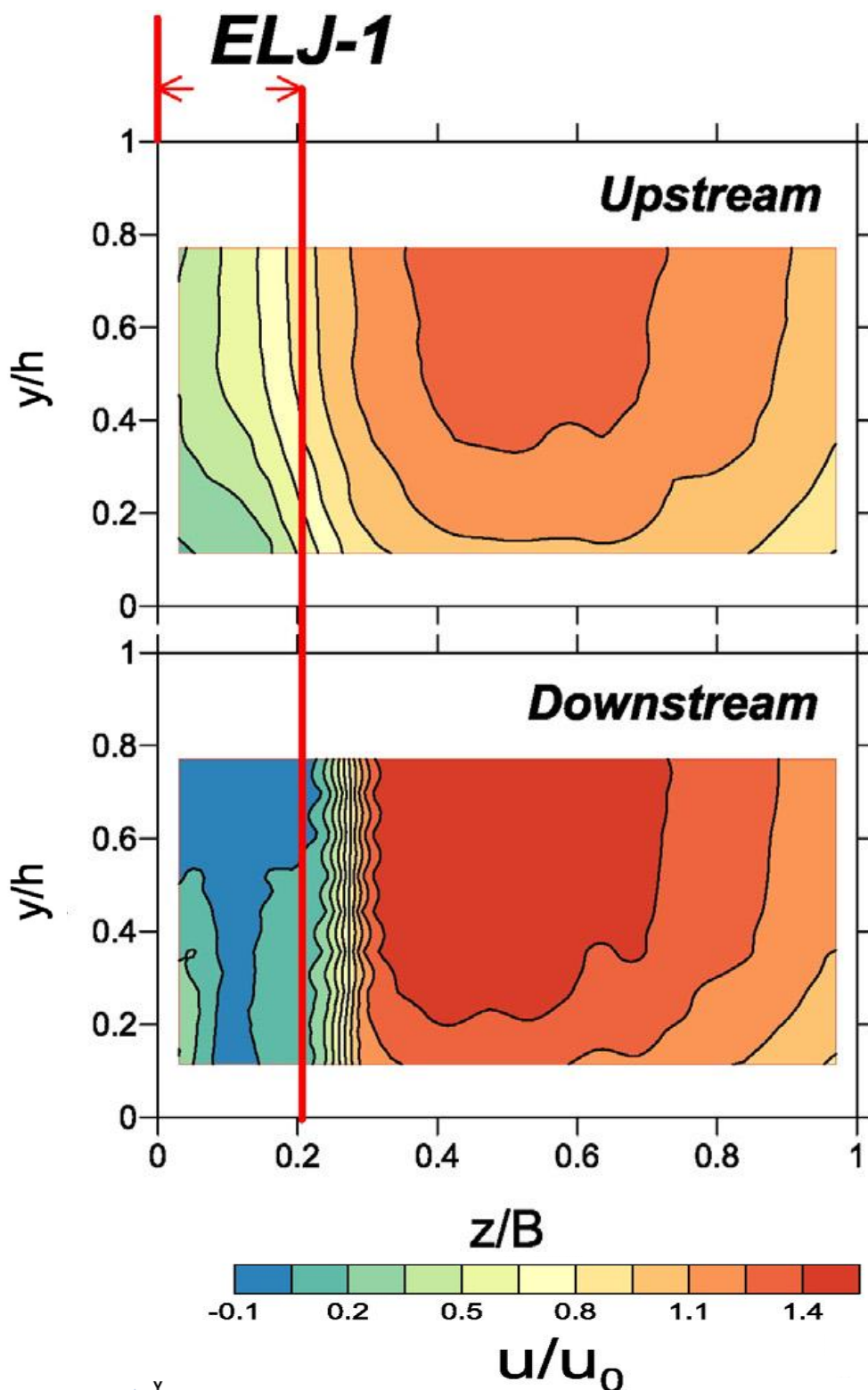
روند قیاس صورت گرفته بدین صورت است که مؤلفه ی سرعت در راستای (x) و عمق (z) و عرض (y) به ترتیب توسط سرعت متوسط  $m/s$  ۰,۱۲۸، عمق جریان ۰,۱۱۴ متر، عرض کانال ۱,۹ متر (که مربوط به پارامترهای جریان بدون سازه در مدل آزمایشگاهی می باشد) (No structure) نرمال نموده و دیاگرام های سرعت برای شرایط مرجع یا به عبارتی مدل ۱ Config و مدل های ۱,۲ - El z در مدل عددی ارائه و با خروجی های آزمایشگاهی مقایسه شده است.



<i>Without Structure (Config 1)</i>											
	<i>Y</i>	5	10	25	30	40		55	80	150	185
	<i>Z</i>										
<b>V exp</b>	6.97	10.1743	10.63573	12.1616	12.7191	13.4205		14.297	14.4749	13.0342	10.4137
	3.07	8.8756	9.0366	10.9036	11.5129	12.2215		12.7626	13.2341	11.8538	9.5007
	1.27	7.0973	7.6093	9.5855	10.1285	10.79		11.0769	11.4889	10.3985	7.4581
<b>V num</b>	6.97	10.1743	10.6357	12.1616	12.7191	13.4205		14.297	14.4779	13.0342	10.4137
	3.07	8.8756	9.0366	10.9036	11.5129	12.2205		12.7626	13.2341	11.8538	9.5007
	1.27	7.0973	7.6093	9.5455	10.1285	10.79		11.0769	11.4889	10.3985	7.4381
<b>Error%</b>	6.97	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.021	0.000	0.000
	3.07	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008		0.000	0.000	0.000	0.000
	1.27	0.000	0.000	0.419	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.269

شکل های ۴-۱۸ و ۴-۱۹ و جدول ۴-۳: نمودار سرعت جریان در راستای محور *X* در کانال بدون ساختار Elz در مدل عددی، نمودار سرعت جریان در راستای محور *X* در کانال بدون ساختار Elz در مدل آزمایشگاهی، جدول مقایسه سرعت جریان در راستای محور *X* در کانال بدون ساختار Elz در مدل عددی و آزمایشگاهی در ۲۷ نقطه انتخابی در مقطع عرضی کانال. محل مقاطع عرضی در فاصله ۵,۱۴۵ متری از ابتدای کانال می باشد.



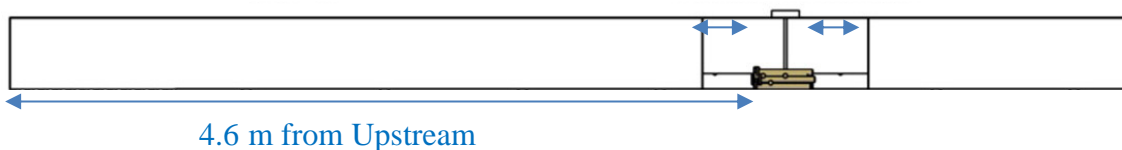




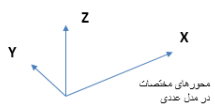
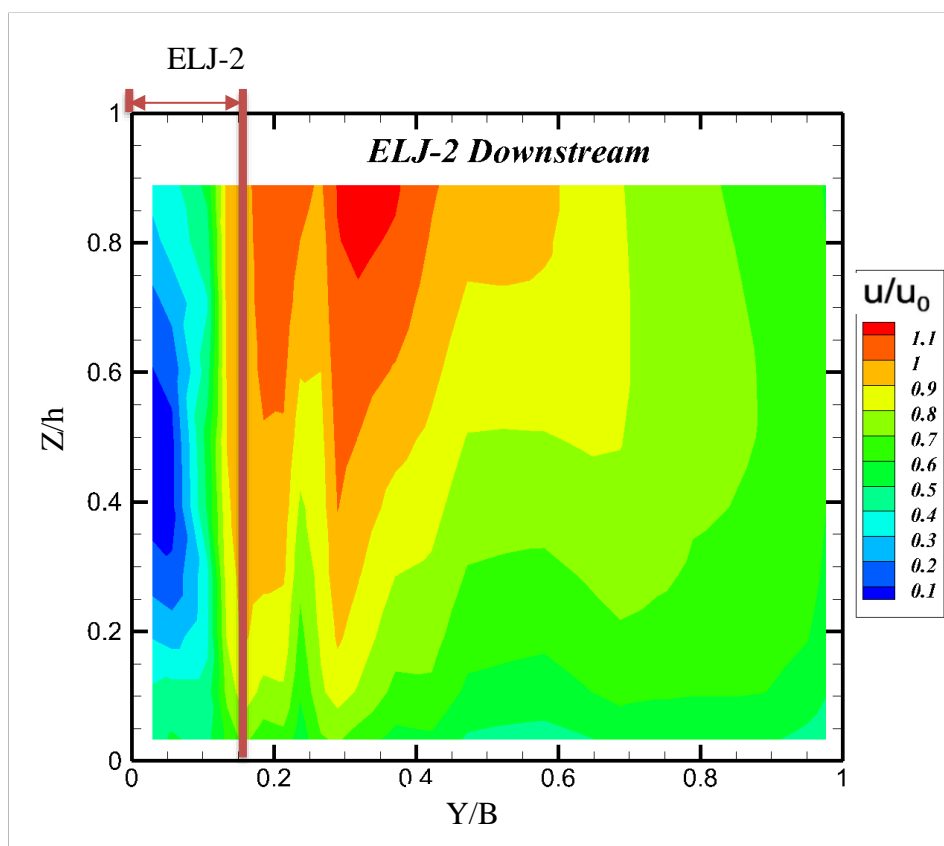
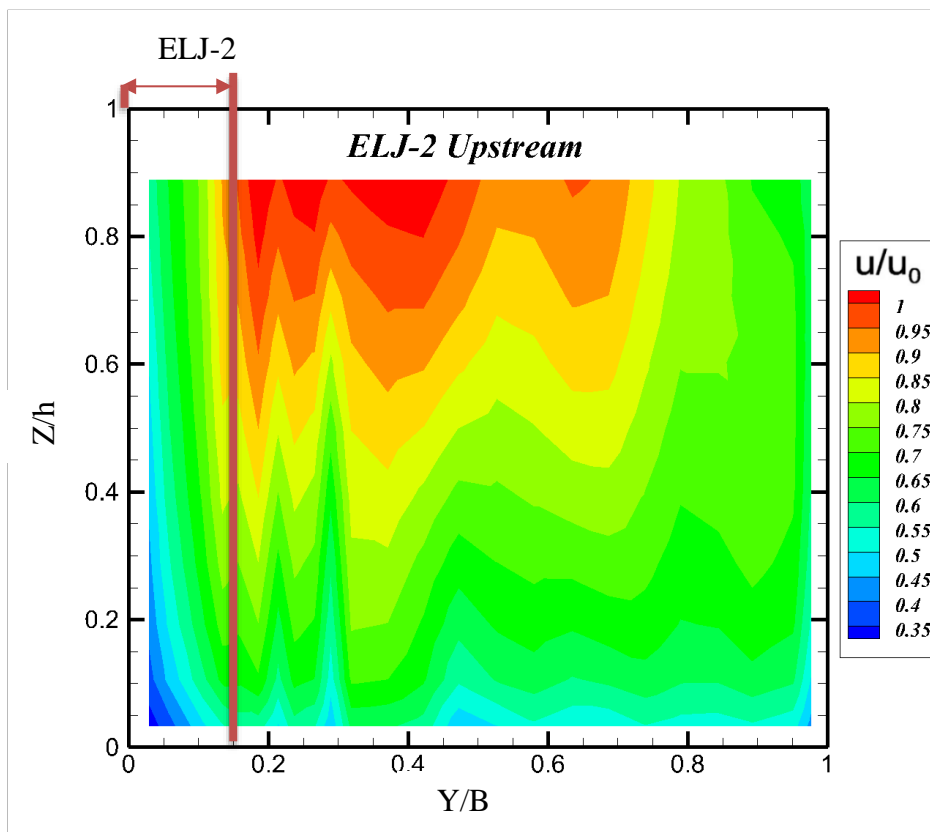
ELJI-Upstream (Config 2)											
	Y	5	10	25	30	40		55	80	150	185
	Z										
V exp	6.97	3.457051563	4.157604293	5.8037158	6.949360313	8.830038125	ELJ Structure	11.11300125	13.18321541	11.91106656	10.04886063
	3.07	2.51549964	3.218137873	4.325997036	4.920265	7.062577791		10.03062969	12.03868313	10.91155182	9.24461125
	1.27	1.596035273	1.985423303	2.539561563	3.32461625	5.447333749		8.71193732	10.38296063	9.720302188	7.903991143
V num	6.97	3.362890625	4.154921875	5.772890625	6.760078125	8.58953125	ELJ Structure	10.8103125	12.818125	11.58664063	9.77515625
	3.07	2.478828125	3.218125	4.30578125	4.78625	6.992265625		9.757421875	11.71078125	10.65914063	8.9928125
	1.27	1.581015625	1.94859375	2.470390625	3.2340625	5.3965625		8.435078125	10.10015625	9.455546875	7.64921875
Error%	6.97	2.800	0.065	0.534	2.800	2.800	ELJ Structure	2.800	2.848	2.800	2.800
	3.07	1.479	0.000	0.470	2.800	1.006		2.800	2.800	2.368	2.800
	1.27	0.950	1.890	2.800	2.800	0.941		3.282	2.800	2.800	3.331

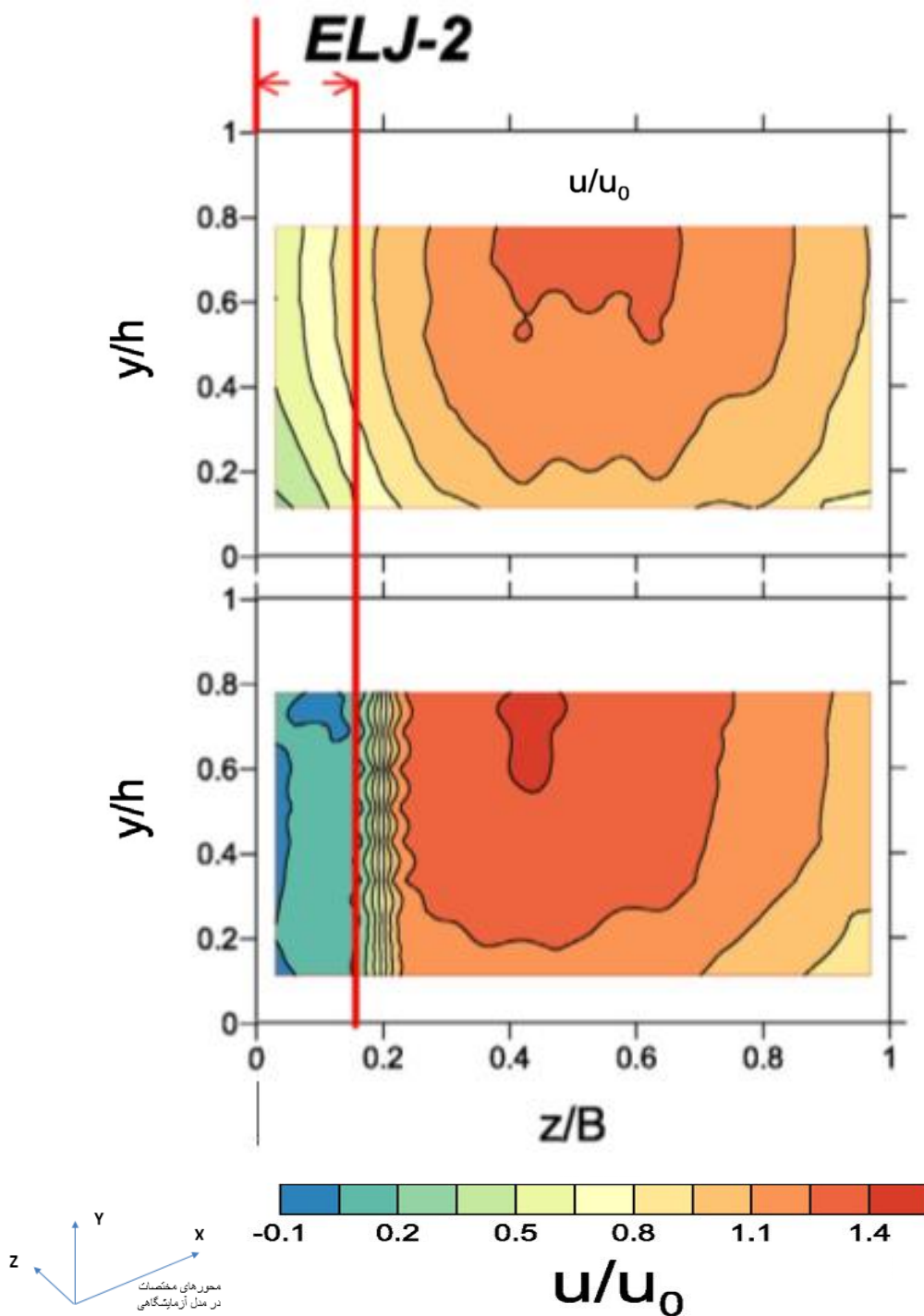
ELJI-Downstream (Config 2)											
	Y	5	10	25	30	40		55	80	150	185
	Z										
V exp	6.97	-0.273423903	0.373142243	-0.6007	0.5209	0.031897167	ELJ Structure	14.56734933	19.0227	17.10963523	14.26771262
	3.07	3.4539	2.9626	0.356263434	1.6485	2.042780517		14.7617	18.05214253	15.3079	13.72144248
	1.27	4.333767845	2.2703	-0.1724	1.398741122	1.828		14.13611003	16.0521	13.89759085	11.3858
V num	6.97	-0.2671	0.3714	-0.6007	0.5209	0.0316	ELJ Structure	14.7044	19.0227	16.5582	14.3347
	3.07	3.4539	2.9626	0.3546	1.6485	2.0143		14.7617	17.9595	15.3079	13.3415
	1.27	4.393	2.2703	-0.1724	1.3728	1.828		13.9979	16.0521	13.6399	11.3858
Error%	6.97	-2.313	0.467	0.000	0.000	0.932	ELJ Structure	0.941	0.000	3.223	0.470
	3.07	0.000	0.000	0.467	0.000	1.394		0.000	0.513	0.000	2.769
	1.27	1.367	0.000	0.000	1.855	0.000		0.978	0.000	1.854	0.000

### 9.5 cm from up & downstream



شکل های ۴-۲۰، ۴-۲۱، ۴-۲۲، ۴-۲۳ و جداول ۴-۴ و ۴-۵: نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹.۵ cm بالادست ساختار در کانال دارای ساختار Elj1 در مدل عددی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹.۵ cm پایین دست ساختار در کانال دارای ساختار Elj1 در مدل عددی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹.۵ cm بالادست ساختار در کانال دارای ساختار Elj1 در مدل آزمایشگاهی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹.۵ cm پایین دست ساختار در کانال دارای ساختار Elj1 در مدل مقایسه سرعت جریان در راستای محور X در ۹.۵ cm بالادست و پایین دست ساختار در کانال دارای ساختار Elj1 در مدل عددی و آزمایشگاهی در ۲۷ نقطه انتخابی در مقطع عرضی کانال.





شکل های ۴-۲۴، ۴-۲۵، ۴-۲۶، ۴-۲۷: نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm بالادست ساختار در کانال دارای ساختار Elj2 در مدل عددی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm پایین دست ساختار در کانال دارای ساختار Elj2 در مدل عددی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm بالادست ساختار در کانال دارای ساختار Elj2 در مدل آزمایشگاهی، نمودار سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵ cm پایین دست ساختار در کانال دارای ساختار Elj2 در مدل آزمایشگاهی، جداول مقایسه سرعت جریان در راستای محور X در ۹,۵cm بالادست و پایین دست ساختار در کانال دارای ساختار Elj2 در مدل عددی و آزمایشگاهی در ۲۷ نقطه انتخابی در مقطع عرضی کانال.

#### ۴-۵ بررسی نتایج شبیه سازی عددی:

مدل سازی های متنوعی از شرایط مرجع آزمایشگاهی در نرم افزار Flow 3d صورت گرفت که در جدول زیر مشخصات کامل شبیه سازی های صورت گرفته آورده شده است.

جدول ۴-۶: حالات مختلف مدلسازی عددی

جدول حالات مختلف مدلسازی عددی				
Config	نوع ساختار ELJ	تعداد ساختار	فاصله بین ساختار ها	ساختار مورد بررسی
۱	بدون ساختار	۰	----	----
۲	۱	۱	----	----
۳	۱	۲	$7/5h, 15h, 30h$	پایین دست (DS)
۴	۱	۲	$5h$	پایین دست (DS)
۵	۱	۳	$5h$	بالا دست (US)
۶	۱	۳	$5h$	میانی (M)
۷	۱	۳	$5h$	پایین دست (DS)
۸	۱	۳	$7/5h$	پایین دست (DS)
۹	۲	۱	----	----

#### ۴-۶ نیروهای وارد شده به ساختار ELJ:

نیروهای وارد شده بر تک ساختار ELJ در مسیر جریان عبرتند از:

$F_D$ : نیروی درگ Drag Force (جهت مثبت به سمت پایین دست)

$F_T$ : نیروی عرضی Transverse Force (جهت مثبت به سمت چپ و یا دیواره مقابل هنگامی که

به پایین دست نگاه می کنیم)

در حالت مدلسازی که از یک ساختار ELJ1 استفاده شده است مقدار نیروی درگ  $F_D=0.851\text{ N}$  و

مقدار نیروی عرضی  $F_T = -0.023\text{ N}$  و برای حالت دارای یک ساختار ELJ2 این مقدار برابر  $F_D=0.352\text{ N}$

و مقدار نیروی عرضی  $F_T = 0.007\text{ N}$  می باشد. با توجه به اینکه مقادیر نیروهای عرضی در برابر نیروی

درگ بسیار ناچیز است لذا در ادامه از پرداختن به نیروهای عرضی خودداری می شود.

#### ۴-۶-۱ نیروی درگ وارد شده به ساختار ELJ :

برای تعیین ضریب درگ بایستی نیروی درگ وارد به سازه را داشته باشیم که در آزمایش با استفاده از Load Cell و در مدل عددی با استفاده از خروجی Drag force نرم افزار این مقدار را تعیین می کنیم و همچنین با داشتن P و سرعت مشخصه سیال و تصویر سطح سازه در راستای جریان و در نهایت جایگذاری مقادیر مذکور در فرمول زیر می توان ضریب درگ را به دست آورد.

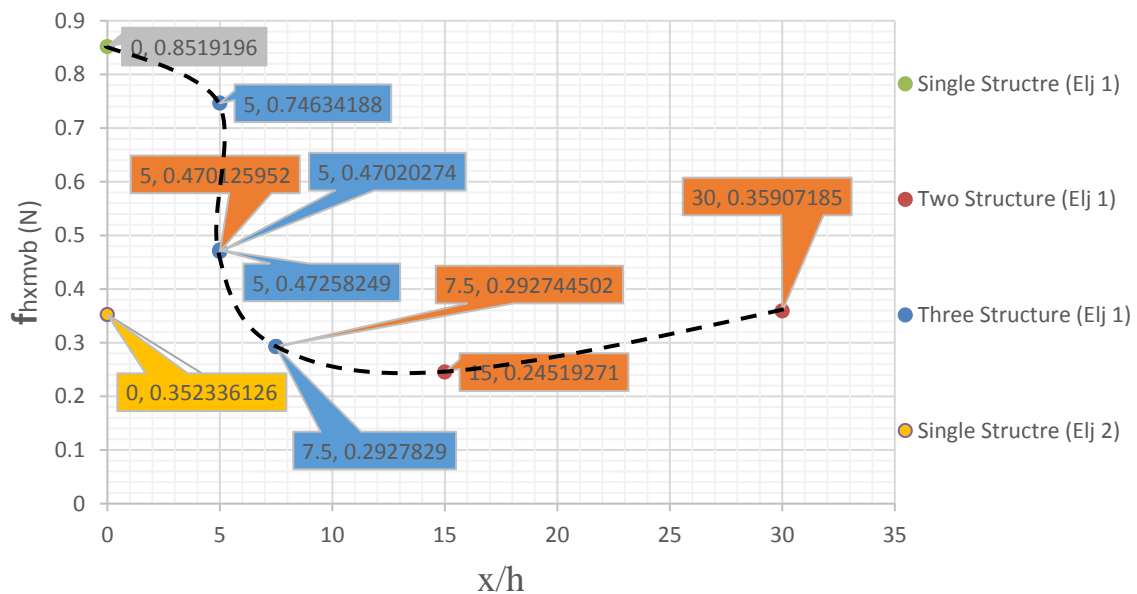
$$C_D = \frac{2F_D}{\rho U^2 A} \quad (۱-۴)$$

در جدول و نمودارهای زیر نیروی درگ وارد بر ساختار در حالات مختلف مدلسازی جمع آوری گردیده است.

جدول ۴-۷: مقادیر نیروی درگ وارد بر ساختار ELJ در حالات مختلف مدلسازی عددی.

try	ELJ Structure Kind	Config	x/h	time	Fhxm vb (F <sub>D</sub> )
				(s)	(N)
1	Elj 1	2	0	30.01199	0.85192
2	Elj 1	3	7.5	30.0016	0.292745
3	Elj 1	3	15	30.00486	0.245193
4	Elj 1	3	30	30.00482	0.359072
5	Elj 1	4	5	30.00204	0.470126
13	Elj 1	5	5	30.00081	0.470203
14	Elj 1	6	5	30.00131	0.472582
15	Elj 1	7	5	30.00065	0.746342
16	Elj 1	8	7.5	30.001	0.292783
20	Elj 2	9	0	30.00649	0.352336

## *Measured drag force acting on ELJ-1&2 for different configurations and spacing of structures*



شکل ۴-۲۸: نمودار مقادیر نیروی درگ وارد بر ساختار ELJ در حالات مختلف مدل‌سازی عددی.

همان‌طور که از جدول و نمودارهای فوق مشخص است مقدار  $F_D$  برای ساختار ELJ1 ۲،۴ برابر ساختار ELJ2 می‌باشد. در نتیجه می‌توان به وابستگی نیروی درگ به مقدار نفوذ سازه در جریان، شکل، زاویه قرارگیری سازه و ابعاد ساختار پی برد، چون تمامی این موارد در خصوص ELJ2 به گونه‌ای می‌باشد که مقاومت کمتری از ساختار در مقابل جریان آب ایجاد می‌کند لذا نیروی درگ وارده بر ساختار ELJ2 انتظار می‌رود کمتر از ساختار ELJ1 باشد که اثبات این ادعا با نگاهی به مقادیر جدول فوق پر واضح است. مقادیر ارائه شده در جدول فوق با نتایج ارائه شده توسط (Gippel et al 1996) و (Wallerstein et al 2002) هماهنگی دارد.

همان‌طور که در نمودار شکل ۴-۲۸ نمایش داده شده نیروی درگ وارد شده بر ساختار ELJ در صورت وجود ساختار دیگری در بالادست سازه ( $F_D = 0.47013 \text{ N}$ ) به طور محسوسی کاهش پیدا می‌کند که این مقدار حدود ۴۵ درصد به نسبت حالت پایه (تک ساختار ELJ1) کاهش پیدا می‌کند. مقدار نیروی

درگ در این حالت با افزایش فاصله میان ساختارها تا حدود  $x = 30h$  نیز تفاوت زیادی نمی کند. هر چند که با افزودن یک ساختار در بالادست توانستیم نیروی درگ را به ۵۵٪ میزان اولیه خود کاهش دهیم ولی با افزایش فاصله میان ساختارها از  $x=5h$  تا  $x=30h$  در ابتدا میزان این نیرو کاهش و با گذر از نقطه مینیمم نسبی (دامنه تأثیر ساختار بالادستی) مقدار این نیرو رو به افزایش می گذارد، در نتیجه می توان از دامنه تأثیر سازه ها بر روی یکدیگر به عنوان یک ملاک طراحی ساختارهای کنترل جریان یاد کرد.

نیروی درگ اندازه گیری شده در حالتی که سه ساختار مدل سازی شده و ساختار میانی مورد سنجش قرار می گیرد (Config 6)، حاکی از تغییر بسیار بسیار جزئی و ناچیز این نیرو در مقایسه با حالتی که تنها یک ساختار در بالادست البته در فواصل برابر وجود دارد (Config 4) می باشد. لذا می توان به تأثیر بسیار کمتر سازه پایین دستی به نسبت سازه بالادستی بر نیروی درگ وارد شده بر ساختار مورد سنجش پی برد. میزان اثر سازه پایین دستی بر سازه بالادستی با بررسی و اندازه گیری نیروی درگ وارده به Config 5 سازه بالادستی در مجموع سه ساختار در مقایسه با Config 2 (حالت تک ساختاری) مشهودتر و قابل لمس تر می باشد هر چند که این کاهش تنها حدود ۱۳٪ می باشد.

مورد دیگری که با مقایسه نیروی درگ وارده در حالت Config 6 در مقایسه با Config 7 قابل بیان است، بی تأثیری وجود دو سازه در بالادست در مقایسه با حالتی که تنها یک ساختار در بالادست قرار دارد، می باشد. لذا اگر به دنبال کاهش نیروی درگ بر روی ساختار فرضی هستیم افزایش تعداد سازه های بالادستی تأثیری بر این مورد ندارد.

#### ۴-۶-۱-۱ ضریب درگ وارد شده به ساختار ELJ :

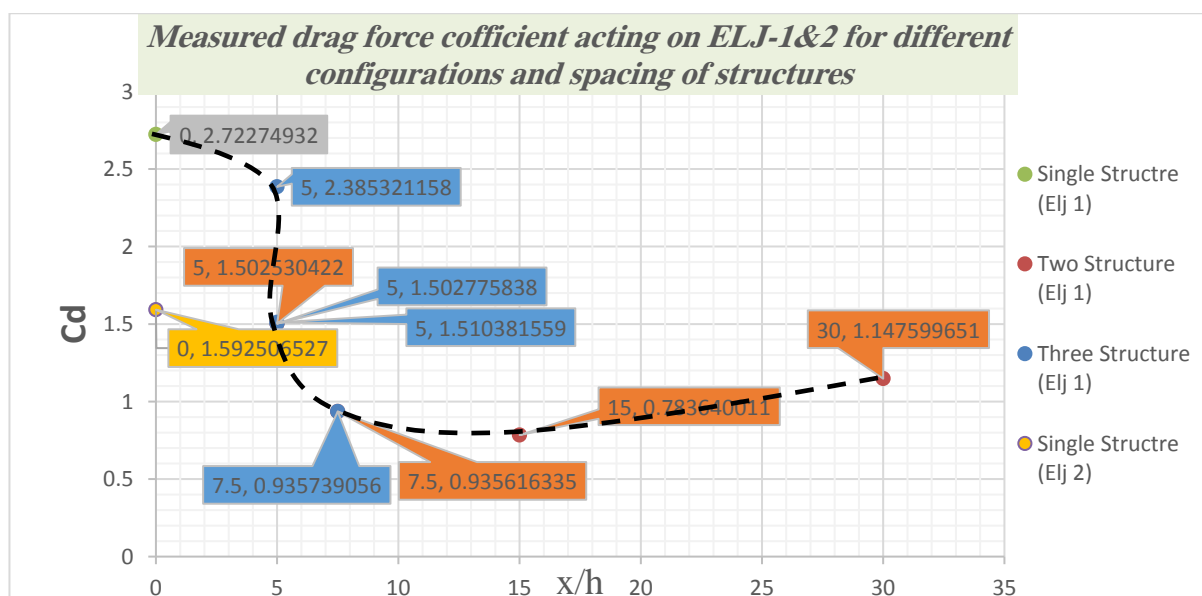
همانطور که بیان گردید مقدار ضریب درگ را می توان با استفاده از فرمول  $C_D = \frac{2F_D}{\rho U^2 A}$  تعیین نمود.

راه های متعددی برای تعیین  $U$  (سرعت مشخصه) وجود دارد که در اینجا و در جهت سادگی از سرعت متوسط مکانی جریان در حالت پایه (بدون سازه) که با توجه به خروجی نرم افزار  $0.117 \text{ m/s}$  می باشد

استفاده شده است و در مواردی که به دنبال طراحی این نوع از ساختارهای کنترل جریان هستیم نیز می‌توان مشابه حالتی که در این پروژه صورت گرفته عمل نمود.

جدول ۴-۸: مقادیر ضریب درگ وارد بر ساختار ELJ در حالات مختلف مدل‌سازی عددی.

Try	ELJ Structure Kind	Config	x/h	time	f <sub>hxm</sub> v <sub>b</sub>	ρ	Characteristic Velocity	Area	Drag Coefficient
				(s)	FD(N)	(Kg/m <sup>3</sup> )	U(m/s)	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	C <sub>d</sub>
1	Elj 1	2	0	30.01199	0.85192	1000	0.117	0.045714	2.72274932
2	Elj 1	3	7.5	30.0016	0.292745	1000	0.117	0.045714	0.935616335
3	Elj 1	3	15	30.00486	0.245193	1000	0.117	0.045714	0.783640011
4	Elj 1	3	30	30.00482	0.359072	1000	0.117	0.045714	1.147599651
5	Elj 1	4	5	30.00204	0.470126	1000	0.117	0.045714	1.502530422
13	Elj 1	5	5	30.00081	0.470203	1000	0.117	0.045714	1.502775838
14	Elj 1	6	5	30.00131	0.472582	1000	0.117	0.045714	1.510381559
15	Elj 1	7	5	30.00065	0.746342	1000	0.117	0.045714	2.385321158
16	Elj 1	8	7.5	30.001	0.292783	1000	0.117	0.045714	0.935739056
20	Elj 2	9	0	30.00649	0.352336	1000	0.117	0.032325	1.592506527



شکل ۴-۲۹: نمودار مقادیر ضریب درگ وارد بر ساختار ELJ در حالات مختلف مدل‌سازی عددی.

ضریب درگ برای حالات تک ساختار  $C_D = 2.72$ , ELJ1 و برای  $C_D = 1.59$ , ELJ2 می‌باشد. (شکل ۴-۲۹) ضریب درگ برای ELJ1 بیشتر از مقدار به دست آمده برای ELJ2 می‌باشد، که می‌توان علت این امر را در اندازه، شکل و جهت قرارگیری ساختار دانست. همان طور که در خصوص نیروی درگ



بیان شد به علت رابطه مستقیم موجود میان نیرو و ضریب درگ در این خصوص نیز با توجه به خروجی‌های نرم افزار و نمودار رسم شده، در حضور ساختار دیگری در بالادست ساختار مورد سنجش مواجه با کاهش ضریب درگ هستیم که برای ساختار  $CD, ELJ1$  از حدود ۲.۷۲ به حدود ۱.۵ (حدود ۴۵٪ کاهش) کاهش می‌یابد.

همان طور که در خصوص نیروی درگ نیز بیان شد پس از کاهش ۴۵٪ ضریب درگ با افزودن سازه‌ای در بالادست ساختار مورد سنجش در فاصله  $x=5h$ ، با افزایش این فاصله تا  $x=30h$  در ابتدا با کاهش مجدد ضریب درگ و با گذر از مینیمم نسبی یا همان دامنه تأثیر سازه بالادستی مقدار ضریب درگ با افزایش همراه است.

همانند نیروی درگ در خصوص ضریب درگ نیز:

۱- بکارگیری سازه در پایین دست سازه مورد سنجش تأثیر بسیار کمتری از سازه بالادستی (در حدود ۱۳٪) دارد.

۲- بی تأثیری حضور دو سازه در بالادست سازه مورد سنجش در مقایسه با حالتی که تنها یک ساختار در بالادست می‌باشد.

## ۷-۴ تنش برشی:

می دانیم که:

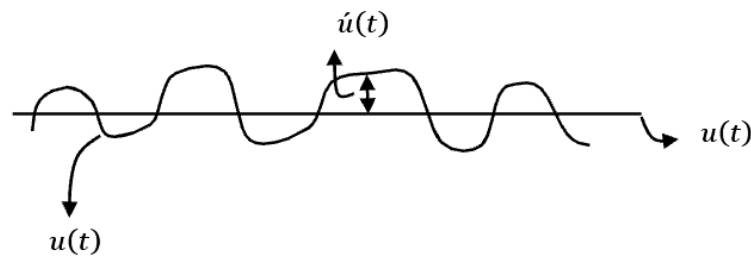
$$u/u_* = 1/k \ln y/y_0, \quad \tau_u = \rho u_*^2 \quad \text{و (۲-۴) و (۳-۴)}$$

$$\tau_R = -\rho u'v', \quad \tau_K = cK, \quad 0.18 < c < 0.21 \quad \text{(۴-۴) و (۵-۴)}$$

برای تعیین سرعت گردابی ابتدا سرعت متوسط را در قسمتی که جریان Laminar و Steady می باشد تعیین و نمودار سرعت در قسمت Turbulence را رسم کرده، تفاوت آنها از یکدیگر بیانگر سرعت گردابی است. (۶-۴)

$$U(t) = \bar{u} + \acute{u}(t) \quad V(b) = \bar{V} + \acute{V}(b)$$

( $\acute{u}$  و  $\acute{V}$ ) میزان آشفتگی ایجاد شده در سرعت به علت وجود گردابه است.



شکل ۴-۳۰: مفهوم سرعت گردابی به صورت شماتیک در شکل فوق ارائه شده است. با توجه به خروجی های نرم افزار سرعت میانگین طولی و عرضی به ترتیب تا قبل از شروع آشفتگی در جریان برابر است با:

در (config 2):

$$y_0 = 0.00375 \quad \longrightarrow \quad \begin{cases} \bar{u}_{ave} = 0.068200813 \\ \bar{v}_{ave} = -0.001506592 \end{cases}$$

برای رودخانه های دائمی و یکنواخت با عمق تقریباً ثابت  $h$  و شیبی با زاویه  $\theta$  که عرض آن بسیار بزرگتر از عمق آن است تنش برشی بستر آن با توجه به ملاحظات حرکت به صورت زیر بیان می شود.

$$\tau_{hs} = \rho gh \sin\theta \quad (۷-۴)$$

$$\text{خیلی کوچک } \theta \Rightarrow \sin \approx \theta \Rightarrow \tau_{hs} = \rho gh \theta$$

در جریان‌های ماندگار و دائمی با برون‌یابی عمق - شیب معادله سرعت برشی به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\tau_u = \rho g h s, \quad u_* = \sqrt{g h s}, \quad u_* = \sqrt{\frac{\tau_u}{\rho}} \Rightarrow \tau_u = \rho u_*^2 \quad (3-4)$$

با توجه به ارتباط  $u_*$  با سرعت متوسط جریان  $\bar{u}$  از طریق اصطکاک داریسی - ویسباخ  $C_f$  داریم.

$$\tau_b = \rho C_f (\bar{u})^2 \Rightarrow C_D = \frac{2F_D}{\rho U^2 A} \quad (1-4)$$

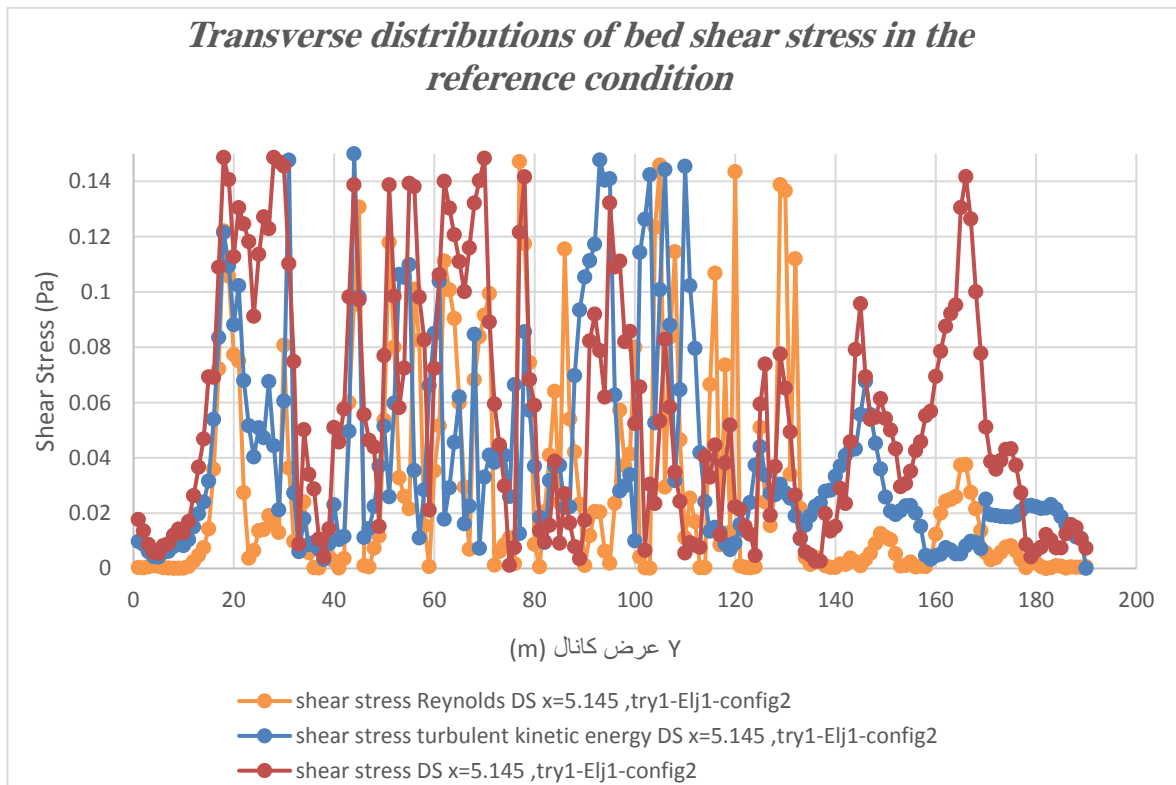
همچنین با توجه به تانسور تنش و با فرض تغییرات خطی تنش دینولدز و انرژی سینلتیکی توربلانس  $K$  نسبت به ارتفاع از بستر، مقادیر تنش برشی بدست آمده از این مقادیر به شرح ذیل است.

$$\tau_R = -\rho \bar{u}'v' \Big|_{y=0} ; \quad \tau_k = cK \Big|_{y=0} \quad (5-4)$$

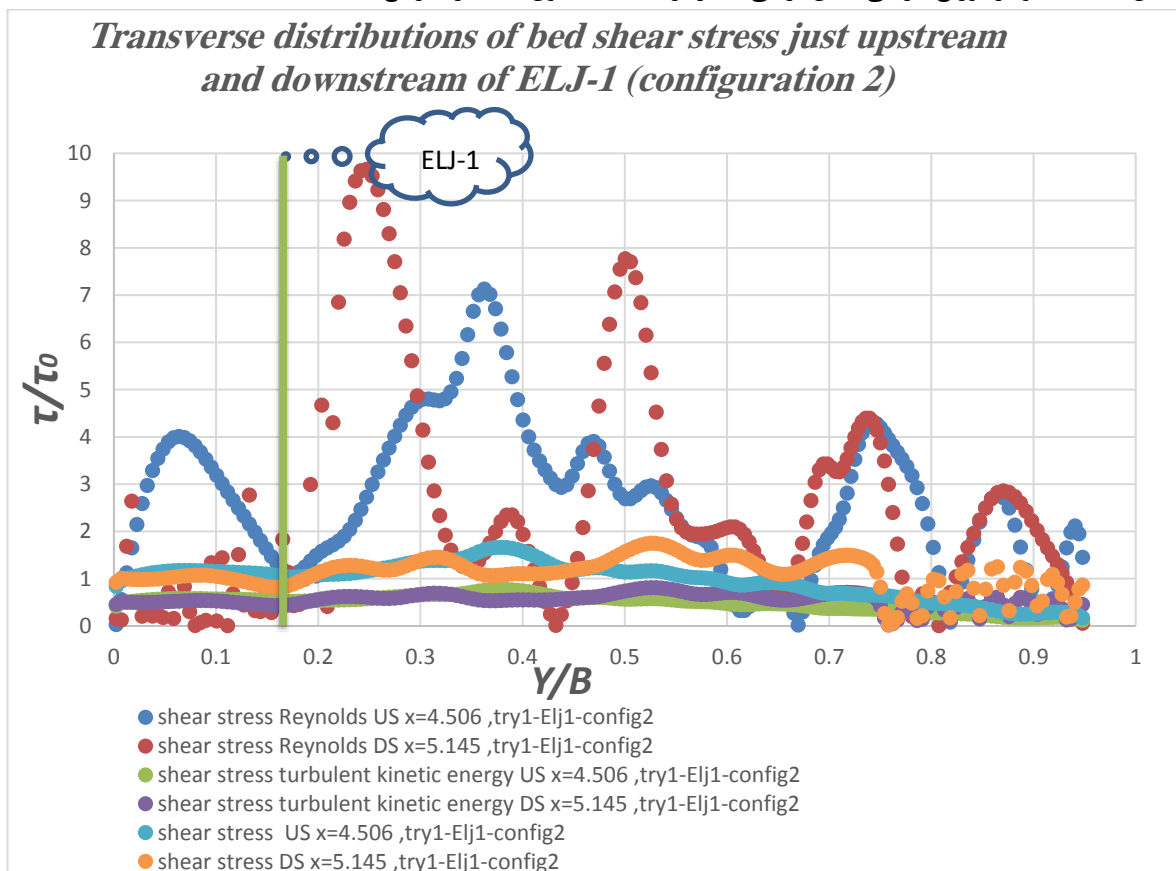
که معمولاً بازه تغییرات  $c$  در حدود ۰،۱۸ تا ۰،۲۱ می‌باشد. (Soulby 1983; Williams et al. 1999; Huthnance et al. 2002)

تعیین الگوی تنش برشی و مقدار آن شامل به کارگیری معادله حرکت سیال (معادله ۵-۴) تحلیل گرادیان سرعت سیال در بستر (معادله ۳-۴) و بررسی توزیع تنش رینولدز و انرژی جنبشی توربلانس (معادله ۵-۴) برای جریان دائمی، یکنواخت و جریان در کانال‌های روباز آشفته بر روی بستر صاف می‌باشند، هر چند که این مقادیر بایستی به یک مقدار واحد با در نظر گرفتن میزان خطا همگرا باشند.

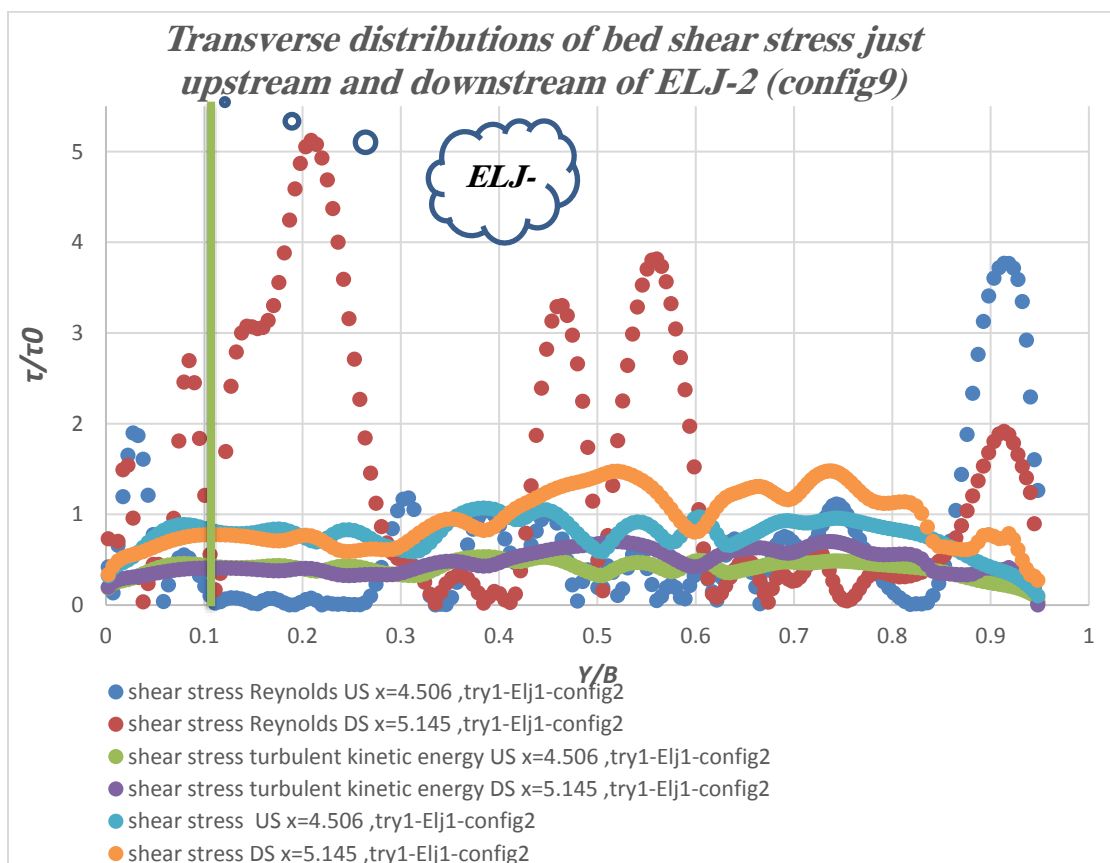
((Nezu and Nakagawa 1993; Bennet et al. 1998; Biron et al 2004



شکل ۴-۳۱: نمودار توزیع عرضی تنش برشی بستر برای حالت بدون ساختار (مرجع).



شکل ۴-۳۲: نمودار توزیع عرضی تنش برشی بستر در بالادست و پایین دست ساختار ELJ-1 (Config 2).



شکل ۴-۳: نمودار توزیع عرضی تنش برشی بستر در بالادست و پایین دست ساختار ELJ-2 (Config 9). قابل ذکر است مقادیر تنش برشی نمایش داده شده در نمودارهای شکل ۴-۳ و ۴-۳۳ توسط

میانگین تنش برشی مرزی بستر به صورت بی بعد شده ارائه شده است در حالیکه نمودار شکل ۴-۳۱ دارای بعد می باشد. بنابراین برای حالت مرجع (پایه یا همان حالت بدون ساختار) مشاهده می شود که  $\tau_{hs} \approx \tau_u \approx \tau_R \approx \tau_K$  می باشد.

تعیین تنش برشی بستر در طول فلوم نشان دهنده هماهنگی  $\tau_K$  و  $\tau_R$  برای شرایط مرجع می باشد. (نمودار ۴-۳۱) هر چند در حالت مرجع تغییرات تقریبیهای تنش برشی زیاد است، البته  $\tau_u$  دارای یکنواختی بیشتر بوده (تغییرات کمتر)، ولی هر سه تقریب تنش برشی بستر در مرکز کانال به مقدار ماکزیمم خود رسیده و با حرکت به سمت دیواره ها از مقدار آنها کاسته می شود.

متوسط مکانی هر یک از تقریبات تنش برشی عبارتند از:

$$\tau_u = 0.051 \text{ Pa}$$

$$\tau_R = 0.065 \text{ Pa}$$

$$\tau_K = 0.059 \text{ Pa}$$

بر اساس معادله (۴-۵) مقدار  $c$  برابر ۰,۲۳ بدست می‌آید که تنها به میزان جزئی بیشتر از رنج گزارش شده در قسمت قبل می‌باشد.

در نتیجه با استفاده از داده‌های جریان جدول (شماره یک)  $\tau_{hs} = 0.56 \text{ Pa}$  می‌باشد.

با توجه به اینکه  $S = 0.0005$  لذا اختلاف ارتفاع 3.5 mm در طول  $\gamma$  متر فلوم داریم و با توجه به دقت نرم افزار flow 3D که با توجه به قسمت مدلسازی شیب فلوم حدود  $\pm 1 \text{ mm}$  است (همان قسمت  $g$  که با اعشار قرار داده ایم). در نتیجه می‌توان مقدار بدست آمده برای  $\tau_{hs} = 0.56 \text{ Pa}$  را که بیشتر از مقدارهای تعیین شده برای دیگر تقریبات است با توجه به میزان مجاز خطا در  $S$  بایستی مقدار  $S$  را اصلاح نماییم. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان گفت  $\tau_{ii} \simeq \tau_{R} \simeq \tau_{K}$  و همچنین می‌توان یک تنش برشی مرزی میانگین  $\tau_0$  تعریف نمود که تغییر این مقدار برای جریان در کانال‌های روباز با هندسه پیچیده، همانند جریان در حضور ELJ به وسیله  $\tau_K$  دقیق تر از سایر روش‌ها می‌باشد. (Biron et al 2004)

بنابراین با برابر قرار دادن  $\tau_0 = \tau_{hs}$  (در معادله ۵) مقدار  $S = 0.0005$  می‌باشد که یک شیب بسیار کم با تأثیر بسیار ناچیز در تنش برش مرزی است. قابل ذکر است از این پس از مقدار اصلاح شده شیب در محاسبات استفاده می‌شود.

در بالادست ساختار ELJ مقادیر تنش برشی بستر در عرض کانال تفاوت قابل توجهی از شرایط مرجع دارد. ولی در پایین دست ساختار ELJ تنش برشی بستر به شدت تحت تأثیر قرار گرفته است.

در محدوده نزدیک به دیواره در پایین دست ساختار ELJ،  $\tau_R$  و  $\tau_h$  به شدت در مقایسه با شرایط مرجع (با ضریب ۲) کاهش می‌یابد. تنش برشی بستر در خارج از محدوده نفوذ (پیشروی) ساختار در جریان به شدت افزایش می‌یابد (با ضریب ۸). بر اساس این توزیع تنش، بیشترین پتانسیل برای گسترش فرسایش و آشفستگی در بستر جریان همان طور که انتظار می‌رود دقیقاً خارج از محدوده نفوذ ساختار در جریان می‌باشد. (Butfington et al. , 2002; Wallerstein and Thome, 2004).

## ۴-۸ بحث و بررسی:

تأثیرات الوارهای چوبی تدقیق شده (ELJ) در جریان در یک کانال دو گانه است. در نزدیکی ساختار، ELJها می‌توانند سرعت جریان و تنش برشی بستر را در نزدیکی دیواره‌ها و به خصوص در ناحیه پایین دست ساختار به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش بدهند در حالی که یک جریان شتاب دار در اطراف ساختار مشاهده می‌شود که همراه با شدت تلاطم و تنش برشی بیشتری در نزدیکی ساختار می‌باشد.

بر اساس شرایط تحمیل شده، سرعت جریان در نزدیکی دیواره‌ها کاهش یافته و می‌تواند تا فاصله  $x = 30h$  نیز نزول یابد. مشاهدات و نتایج با یافته‌های قبلی که نشان می‌دهد حضور الوارهای چوبی بزرگ در رودخانه‌ها سرعت را در نزدیکی ساختار کاهش می‌دهند مطابقت دارد.

ساختار مورد بحث با ایجاد یک ناحیه سکون در پایین دست خود، حداکثر سرعت جریان را از سمت خود به سمت مقابل (کانال اصلی) هدایت می‌کند.

در پایان نامه حاضر بیشتر این اثرات هیدرولیکی و تغییرات آنها در کانال مدلسازی شده مورد بحث و بررسی قرار گرفت. لذا با وجود اثرات هیدرولیکی ایجاد شده، ELJها می‌توانند به عنوان یک محافظ دیواره بسیار مؤثر عمل کنند. چراکه همان گونه که بیان گردید انرژی در نواحی نزدیک دیواره‌ها کاهش یافته، پایداری دیواره‌ها را تسهیل بخشیده و موجب انباشت و ته نشینی رسوبات و ترکیبات مغذی و جلوگیری از فرسایش بستر و دیواره کانال می‌گردد.

ELJها باعث ایجاد چاله‌های آبستگی در پیرامون و محیط ساختار، دقیقاً در جایی که جریان شتاب دار شده، شدت تلاطم افزایش یافته و تنش برشی بستر بزرگتری رخ می‌دهد، می‌شوند.

پر واضح است که این تغییرات در کانال جریان می‌تواند پیچیدگی‌های ژئومورفیک و هیدرولیکی و همچنین تعداد زیستگاه‌های موجود برای طیف وسیعی از گونه‌های آبی را افزایش دهد.

(Gippel et al., 1996; Rhoads et al., 2003; Abbe et al., 2003b; Manners et al., 2007)

استفاده از ELJها در یک جریان آشفته نشان داده است که افزایش تنوع زیستگاه فیزیکی، از جمله توسعه مناطق جریان ثانویه که بسیاری از گونه‌های ماهیان به عنوان پناهگاه یا به عنوان مکان تغذیه، از آن بهره می‌برند، را به همراه دارند. (Shields et al., 2006; He et al 2009).

این ویژگی‌های ELJها می‌تواند اهداف پروژه‌های بازسازی رودخانه‌ها را که حفاظت از جریان‌های رودخانه‌ای در برابر آسیب‌های هیدرولیکی و افزایش زیستگاه‌های درون جریانی برای گونه‌های مختلف آبیان است، برآورده سازد. این گونه مدل سازی‌های عددی بینش بیشتری را جهت تحصیل ملاک‌های طراحی ارائه می‌دهد. به طور مثال همان گونه که (Shields, Alonso 2012) بیان کردند، یک طیف وسیعی از مقادیر  $C_D$  برای LWها در رودخانه‌ها ارائه دادند (۹ تا ۰,۳)، که علت آن تأثیر زبری چوب، زاویه قرارگیری و میزان مستغرق بودن آن در جریان می‌باشد.

بر اساس نتایج ارائه شده و همچنین تحقیقاتی که قبلاً صورت گرفته مقادیر  $C_D$  برای الوارهای چوبی تنظیم شده با ابعاد و به نحوی که در این پروژه ارائه گردیده است مابین ۱ تا ۳ متغیر است. اهمیت این مطلب پس از تعیین  $C_D$  و بکارگیری آن در مدل‌های عددی جهت دریافت پاسخ مورفودینامیک رودخانه به کاربرد ELJها مشخص می‌گردد.

نیروی درگ مربوط به ساختار ELJ1 بزرگتر از ساختار ELJ2 می‌باشد، که بیانگر شدت تلاطم و تنش برشی بیشتر پیرامون ساختار ELJ1 به نسبت ELJ2 می‌باشد.

اثرات هیدرولیکی ساختار ELJ1 باعث ایجاد چاله‌های آبستگی با عمق بیشتر و حوزه جریان بزرگتری به نسبت ساختار ELJ2 می‌شود. با این حال، هر دو ساختار از دیواره‌های پایین دست کانال به طور قابل توجهی محافظت می‌کنند.

جهت دستیابی به طرح مؤثری از ELJها تکیه بر محاسبه دقیق نیروهای وارد بر ساختار ضروری به نظر می‌رسد.



برای اهداف عملی و کاربردی، Abbe و همکارانش (۲۰۱۱) این رویکرد تعادل نیرو را برای کاربردهای مهندسی ساده سازی کردند، به نحوی که مجموع نیروهای افقی وارد بر ساختارهای کنترل جریان را می‌توان به نیروهای هیدروستاتیک، شناوری و درگ خلاصه نمود. بر این ساده سازی صورت گرفته می‌توان با مشاهده نتایج پروژه حاضر صحنه گذاشت چرا که همان طور که پیش تر بیان شد نیروی درگ وارد به ساختار به طور قابل توجهی بزرگتر از نیروهای عرضی می‌باشد.

معمولاً برای مقابله و به تعادل رسیدن در برابر نیروی شناوری ساختار را با شن و ماسه متعادل می‌کنند.

(D'Aoust and Millar, 2000; Brooks et al., 2006; Abbe and Brooks, 2011)

به همین ترتیب نصب شمع‌ها در دیواره و بستر جریان در جهت مقابله با نیروی درگ وارد بر ساختار صورت می‌گیرد.

قابل ذکر است که در هنگام طراحی ساختارهای ELJ در جریان‌های طبیعی به محدودیت‌های پروژه حاضر بایستی توجه گردد، از جمله دبی طراحی Q1.5 با دوره بازگشت یک سال و نیم، جریان‌های با عدد فرود پایین ( $0.12 \approx fr$ )،  $\frac{w}{h} \approx 18$ ، جریان کم عمق با شیب بستر بسیار نرم  $S \approx 0.0005$  و بستر دارای دانه بندی به شدت ریز می‌باشد (جدول ۴-۱). بنابراین میزان پاسخ مورفودینامیک رودخانه و همچنین کارایی ساختار ELJ مشروط به شرایط مرزی می‌باشد. ساختار ELJ مورد بررسی در این پروژه و نتایج ارائه شده بر اساس طرح‌های ارائه شده توسط Brooks و همکاران (۲۰۰۶) می‌باشد.

پیشنهاد می‌شود که ارزیابی‌ها و بررسی پروژه ELJ پس از نصب همواره ادامه یابد چرا که یکی از مؤلفه‌های مهم اندازه گیری انعطاف پذیری و تغییرات پاسخ‌های کانال به کاربرد این ساختارهاست به خصوص که امکان دارد اثرات مثبت اکولوژیکی بعد از سال‌ها بسته با سازگاری ساختارهای درون جریانی و عدم سازگاری تأثیرات حوزه آبریز بر روی اکوسیستم پایدار نباشد. (Shields et al, 2005 , 2007)



## فصل پنجم:

### نتیجه گیری و پیشنهادات

## ۵-۱ نتیجه گیری:

یک مطالعه عددی برای ارزیابی اثرات الوارهای چوبی تدقیق شده بر روی جریان متوسط و آشفته در بستر ثابت و کانال با سطح مستطیلی و به جهت تعیین نیروهای وارد بر ساختار صورت گرفت. نتایج اولیه به طور خلاصه در ادامه ارائه می‌شود:

\* کاربرد ELJ در یک جریان به شدت مناطق در نزدیکی ساختار را تحت تأثیر قرار می‌دهد، منجر به یک برگشت آب خفیف بلافاصله در بالادست ساختار شده، ایجاد جریان شتابدار در اطراف و کاهش سرعت جریان بلافاصله در پایین دست ساختار ELJ می‌شود.

\* ایجاد یک لایه برشی عمودی و کمی متمایل و آشفته‌گی بسیار زیادی در اطراف ساختار که فاصله عرضی آن با جریان اصلی به نظر می‌رسد در حدود فاصله نفوذ ساختار ELJ در جریان باشد. تنش برشی بستر در حوالی این لایه برشی اندازه گیری شده و قابل ذکر است که در پایین دست ساختار در نزدیکی دیواره‌ها و سواحل تنش برشی کاهش می‌یابد.

\* این تأثیرات هیدرولیکی در خصوص ساختار ELJ1 در مقایسه با ELJ2 قابل ملاحظه تر و چشمگیرتر می‌باشد چرا که در ابعاد، شکل و زاویه قرارگیری با یکدیگر متفاوتند.

\* با وجود این اختلالات موضعی، کاربرد تنها یک ساختار ELJ تأثیر چندانی بر جریان کلی به جز در بالادست و پایین دست ساختار ندارد.

\* هنگامی که دو یا سه ساختار در کنار هم قرار گرفته اند، باعث ایجاد یک منطقه برخاستگی آب تا فاصله 30h نموده و به طور مؤثری از ساختارهای پایین دست و سواحل جریان در برابر فشار کامل نیروی درگ محافظت می کند. به طور کلی، این اثر برای هر دو نوع ساختار ELJ مشابه بوده، اگرچه تفاوت های ناچیزی در انرژی جنبشی آشفتگی مشاهده شده است.

\* میزان نیروی درگ وارد بر ساختار ۱۰ برابر بزرگتر از نیروی عرضی وارده می باشد. ضریب درگ (با استفاده از سرعت جریان متوسط مکانی شرایط مرجع) برای ساختار ELJ1، 2.72 و برای ساختار ELJ2، 1.60 می باشد.

\* نیروی درگ وارده بر ساختار در صورت وجود ساختار دیگری در بالادست به طور چشمگیر کاهش می یابد و از ساختار پایین دستی محافظت می کند و در واقع باعث کاهش ضریب درگ نیز می شود.

\* نتایج ارائه شده بینش بیشتری نسبت به معیارهای طراحی لازم برای کاربرد بیشتر ساختارهای ELJ در رودخانه ها فراهم می کند. اولاً، ساختارهای ELJ از طریق کاهش سرعت جریان از دیواره ها و سواحل جریان تا فاصله تقریباً 30h از ساختار محافظت نموده ثانیاً ضریب درگ ارائه شده می تواند در جهت تعادل نیروهای وارده بر ساختار مورد استفاده قرار گیرد.

## ۵-۲ ارائه پیشنهادات:

- تعیین ملاک های طراحی کاربرد ساختارهای ELJ در جریان های رودخانه ای به صورت مدون.
- بسط حالات مدلسازی عددی در حالات دو و سه ساختاره و در فواصل مختلف برای هر دو ساختار ELJ-1 و ELJ-2.
- بررسی عددی کاربرد ساختارهای ELJ بر و تعیین میزان عمق آبستگي در رودخانه ها و کانالهای با بستر متحرک.
- بررسی رفتار جریان حول ساختار های ELJ در کانالهای دارای قوس.
- بررسی تاثیرات زیست محیطی ساختارهای ELJ بر جریان.
- تاثیر سایر مدل های آشفتگی و کاربرد نرم افزار های دیگر جهت مقایسه نتایج آن ها.
- بررسی حساسیت ساختار بر شرایط هیدرولیکی جریان از جمله عمق ، سطح مقطع جریان عبوری و تغییرات دبی در بالادست، زبری کانال و دانه بندی بستر و ...
- پیشنهاد می شود از تعادل حرکتی برای تحلیل نیروی درگ وارد بر ساختار ELJ بر اساس داده های هیدرولیکی جمع آوری شده به علت عدم اطمینان ناشی از داده های تجربی و عددی برای محاسبه این نیروهای نسبتاً کوچک استفاده شود.

## منابع و مأخذ:

### مراجع لاتين:

- Abbe, T., Brooks, A., 2011. Geomorphic, engineering, and ecological considerations when using wood in river restoration. In: Simon, A., Bennett, S.J., Castro, J.M. (Eds.), *Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems: Scientific Approaches, Analyses, and Tools* Geophysical Monograph Series 194. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 419–451.
- Abbe, T.B., Montgomery, D.R., 1996. Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers. *Regul. Rivers Res. Manag.* 12, 201–221.
- Abbe, T.B., Brooks, A.P., Montgomery, D.R., 2003a. Wood in river rehabilitation and management. In: Gregory, S.V., Boyer, K.L., Gurnell, A.M. (Eds.), *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*. American Fisheries Society Symposium 37. American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp. 367–389.
- Abbe, T., Pess, G., Montgomery, D.R., Fetherston, K., 2003b. Integrating engineered log jam technology into reach-scale river restoration. In: Montgomery, D.R., Bolton, S., Booth, D.B., Wall, L. (Eds.), *Restoration of Puget Sound Rivers*. University of Washington Press, Seattle and London, pp. 443–482.
- Alonso, C.V., 2004. Transport mechanics of stream-borne logs. In: Bennett, S.J., Simon, A. (Eds.), *Riparian Vegetation and Fluvial Geomorphology* *Water Sci. Appl.* vol. 8. American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 59–69.
- Bennett, S.J., Bridge, J.S., Best, J.L., 1998. Fluid and sediment dynamics of upper-stage plane beds. *J. Geophys. Res.* 103 (C1), 1239–1274.
- Bennett, S.J., Wu, W., Alonso, C.V., Wang, S.S.Y., 2008. Modeling fluvial response to instream woody vegetation: implications for stream corridor restoration. *Earth Surf. Process. Landf.* 33, 890–909.
- Biron, P.M., Robson, C., Lapointe, M.F., Gaskin, S.J., 2004. Comparing different methods of bed shear stress in simple and complex flow fields. *Earth Surf. Process. Landf.* 29, 1403–1415.
- Bisson, P.A., Bilby, R.E., Bryant, M.D., Dolloff, C.A., Grette, G.B., House, R.A., Murphy, M.L., Koski, K.V., Sedell, J.R., 1987. Large woody debris in forested streams in the Pacific Northwest: past, present, and future. In: Salo, E.O., Cundy, T.W. (Eds.),

Streamside Management: Forestry and Fishery Interactions College of Forest Resources, Contribution 57. University of Washington, Seattle, pp. 143–190.

- Brooks, A.P., Gehrke, P.C., Jansen, J.D., Abbe, T.B., 2004. Experimental reintroduction of woody debris on the Williams River, NSW: geomorphic and ecological responses. *River Res. Appl.* 20, 513–536.
- Brooks, A., Abbe, T., Cohen, T., Marsh, N., Mika, S., Boulton, A., Broderick, T., Borg, D., Rutherford, I., 2006. Design Guideline for the Reintroduction of Wood into Australian Streams. Land & Water Australia, Canberra (85 pp.).
- Buffington, J.M., Lisle, T.E., Woodsmith, R.D., Hilton, S., 2002. Controls on the size and occurrence of pools in coarse-grained forest rivers. *River Res. Appl.* 18, 507–531.
- Cai, D., 2014. Effects of Engineered Log Jams on Mean and Turbulent Flow in an Open Channel (M.S. thesis), Department of Geography, University at Buffalo (51 pp.).
- Chow, V.T., 1959. Open-channel Hydraulics. The Blackburn Press, Caldwell (680 pp.).
- Coleman, W.H. and Steele, W.G. 1999. Experimentation and uncertainty analysis for engineers. John Wiley & Sons, Second Edition, New York, NY, USA, 275 p.
- Collins, B.D., Montgomery, D.R., Fetherston, K., Abbe, T.B., 2012. The floodplain large-wood cycle hypothesis: a mechanism for the physical and biotic structuring of temperate forested alluvial valleys in the North Pacific coastal ecoregion. *Geomorphology* 139–140, 460–470.
- D'Aoust, S.G., Millar, R.G., 2000. Stability of ballasted woody debris habitat structures. *J. Hydraul. Eng.* 126, 810–817.
- Daniels, M.D., Rhoads, B.L., 2003. Influence of a large woody debris obstruction on three dimensional flow structure in a meander bend. *Geomorphology* 51, 159–173.
- Gallisdorfer, M.S., Bennett, S.J., Atkinson, J.F., Ghaneizad, S.M., Brooks, A.P., Simon, A., Langendoen, E.J., 2013. Physical-scale model designs for engineered log jams in rivers. *J. Hydro Environ. Res.* 8, 115–128.
- Gippel, C.J., O'Neill, I.C., Finlayson, B.J., Schnatz, I., 1996. Hydraulic guidelines for the reintroduction and management of large woody debris in lowland rivers. *Regul. Rivers Res. Manag.* 12, 223–236.
- Goring, D.G., Nikora, V.I., 2002. Despiking acoustic Doppler velocimeter data. *J. Hydraul. Eng.* 128, 117–126.
- Hossein Azinfar, 2010. FLOW RESISTANCE AND ASSOCIATED BACKWATER EFFECT DUE TO SPUR DIKES IN OPEN CHANNELS, Degree of Doctor of



Philosophy In the Department of Civil and Geological Engineering University of Saskatchewan Saskatoon.

- jams. Water Resource. Res. 43, W06432. <http://dx.doi.org/10.1029/2006WR004910>.
- Lane, S.N., Biron, P.M., Bradbrook, K.F., Butler, J.B., Chandler, J.H., Crowell, M.D., McLelland, S.J., Richards, K.S., Roy, A.G., 1998. Three-dimensional measurement of river channel flow processes using acoustic Doppler velocimetry. *Earth Surf. Process. Landf.* 23, 1247–1267.
- Lautz, L.K., Siegel, D.I., Bauer, R.L., 2006. Impact of debris dams on hyporheic interaction along a semi-arid stream. *Hydrol. Process.* 20, 183–196.
- Lester, R.E., Boulton, A.J., 2008. Rehabilitating agricultural streams in Australia with wood: a review. *Environ. Manag.* 42, 310–326.
- Manners, R.B., Doyle, M.W., Small, M.J., 2007. Structure and hydraulics of natural woody debris
- Mansoori, Amir Reza, Study on Flow and Sediment Transport around Series of Spur Dikes with Different Head Shape, 2014, A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Civil and Earth Resources Engineering, Kyoto University Japan
- Montgomery, D.R., Buffington, J.M., Smith, R., Schmidt, K., Pess, G., 1995. Pool spacing in forest channels. *Water resource. Res.* 31, 1097–1105.
- Nezu, I., Nakagawa, H., 1993. *Turbulence in Open-Channel Flows*. Balkema, Rotterdam (286 pp.).
- Pijush K.Kundu, Ira M. Cohen, *Fluid Mechanics*, Fourth Edition.
- Shields Jr., F.D., Alonso, C.V., 2012. Assessment of flow forces on large wood in rivers. *Water resource. Res.* 48, W04516. <http://dx.doi.org/10.1029/2011WR011547>.
- Shields Jr., F.D., Morin, N., Cooper, C.M., 2004. Large woody debris structures for sand bed channels. *J. Hydraul. Eng.* 130, 208–217.
- Shields Jr., F.D., Knight, S.S., Cooper, C.M., 2005. Stream ecosystem restoration: is watershed-scale treatment effective without instream habitat rehabilitation? *Ecol. Restor.* 23, 103–109.
- Shields Jr., F.D., Knight, S.S., Stofleth, J.M., 2006. Large wood addition for aquatic habitat rehabilitation in an incised sand-bed stream, Little Topashaw Creek, Mississippi.
- *River Res. Appl.* 22, 803–817.

- Shields Jr., F.D., Knight, S.S., Copper, C.M., 2007. Can warm water streams be rehabilitated using watershed-scale standard erosion control measures alone? *Environ. Manag.* 40, 62–79.
- Shields, F.D. 1995. Fate of lower Mississippi River habitats associated with river training dikes. *Journal of Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Conservation*, 5: 97-108.
- Soliman, M.M., Attia, K.M., Kotb, Talaat, A.M., and Ahmad, A.F. 1997. Spur dike effects on the river Nile morphology after High Aswan Dam. *Proc. of 27th IAHR Congress, Managing Water, Vol. A*, pp. 805-810.
- Soulsby, R.L., 1983. The bottom boundary-layer in shelf seas. In: Johns, B. (Ed.), *Physical Oceanography of Coastal and Shelf Areas*. Elsevier, Amsterdam, pp. 189–266.
- South Dakota Department of Environment and Natural Resources, 2014. The 2014 South Dakota Integrated Report for Surface Water Quality Assessment. <http://denr.sd.gov/documents.aspx> (accessed June 10, 2015).
- Sukhodolov, A., Thiele, M., Bungartz, H., 1998. Turbulence structure in a river reach with sand bed. *Water resource. Res.* 34, 1317–1334.
- Svoboda, C.D., Russell, K., 2011. Flume analysis of engineered large wood structures for scour development and habitat. *World Environmental and Water Resources Congress 2011 Bearing Knowledge for Sustainability*. American Society of Civil Engineers, pp. 2572–2581.
- Wallerstein, N.P., Thorne, C.R., 2004. Influence of large woody debris on morphological evolution of incised, sand-bed channels. *Geomorphology* 57, 53–73.
- Wallerstein, N.P., Alonso, C.V., Bennett, S.J., Thorne, C.R., 2001. Distorted Froude-scaled flume analysis of large woody debris. *Earth Surf. Process. Landf.* 26, 1265–1283.
- Wallerstein, N.P., Alonso, C.V., Bennett, S.J., Thorne, C.R., 2002. Surface wave forces acting on submerged logs. *J. Hydraul. Eng.* 128, 349–353.
- Williams, J.J., Rose, C.P., Thorne, P.D., O'Connor, B.A., Humphery, J.D., Hardcastle, P.J., Moores, S.P., Cooke, J.A., Wilson, D.J., 1999. Field observations and predictions of bed shear stresses and vertical suspended sediment concentration profiles in wave current conditions. *Cont. Shelf Res.* 19, 507–536.
- Yossef, M. F. M. 2002. The effects of groynes on rivers (literature review). Delft Cluster Report No. DC1-334-4, Delft, The Netherlands, 57 p.

## مراجع فارسی

- اکرم سیفی، سعید نجفی، حسین ریاحی، طراحی و مدلسازی دینامیک سیالات و تحلیل نتایج در Flow-3D ، چاپ اول ۱۳۹۲.
- سمیه الیاسی و همکاران، شبیه سازی عددی الگوی جریان و سطح آزاد در اطراف یک آبشکن مستغرق در کانال مستقیم شیبدار یا استفاده از نرم افزار Flow-3D ، ۱۳۹۱، نهمین کنگره بین المللی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشگاه رازی.
- سید تقی امید نائینی و همکاران، بررسی اثر طول و فاصله آبشکن ها بر فرسایش و رسوب کف، ۱۳۸۸، هشتمین کنگره بین المللی عمران، دانشگاه شیراز.
- حسین بنکداری و همکاران، بررسی اثر هندسه و توزیع مش های سه بعدی بر مدلسازی CFD جریان های آشفته، ۱۳۸۸، هشتمین کنگره بین المللی عمران، دانشگاه رازی کرمانشاه.
- حمیدرضا بابا علی و همکاران، معرفی نرم افزار Flow-3D و مدلسازی جریان آزاد و مستغرق درون پارشال فلوم، دانشگاه صنعتی شریف.
- ماندانا ناجی ابهری و همکاران، مطالعه آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان حول آبشکن در قوس ۹۰ درجه، ۱۳۸۸، هشتمین کنگره بین المللی عمران، دانشگاه تربیت مدرس.
- مهندس مجید هدایتی فر، مهندس مهیار پورلک، شبیه سازی دینامیک سیالات با Flow-3D ، چاپ اول ۱۳۹۳.
- مهندس مرتضی ماروسی، مهندس رضا روشن، دکتر حامد سرکرده، تحلیل و طراحی با نرم افزار Flow-3D ، چاپ اول ۱۳۹۳.
- مهندس فیروز قاسم زاده، شبیه سازی مسائل هیدرولیکی در Flow-3D ، چاپ اول ۱۳۹۱.

## پیوست ۱:

### انواع سازه های کنترل جریان عبارتند از:

Vane (پره ها): یکی از سازه های کنترل جریان بوده که سعی دارد تا جریان را به دوراز کناره ها هدایت کند تا فرسایش دیواره ها را کاهش دهد. پره ها دارای سه نوع Vane jHooks، Vane و Deflectors هستند.

• Vane jHooks (پره های قلابه ای): نوعی پرده می باشد که در نقاط بالا دست باعث ایجاد پرش هیدرولیکی چاله های جوش آب می گردد. این ساختار برای رودخانه های کوچک مناسب بوده است. مصالح مصرفی در آنها از جنس سنگ ریشه والوار می باشد و برای بسترهای شن و ماسه ای نامناسب است.

• Vane Deflectors (پره های منحرف کننده جریان): نوع دیگری از پره ها بوده که جریان را از دیوارهای رودخانه ها منحرف کرده و باعث ایجاد کانال های عمیق شده و جنس آنها معمولاً از سنگ می باشد.

• Vane dikes (دیوارهای پره ای): نوعی سازه های کنترل جریان بوده که جریان های ثانویه را خنثی می کند و در صورتی که جریان از روی آن لبریز شود باعث افزایش فرسایش در دیواره ها می شود؛ لذا به همین منظور در زمان طراحی ارتفاع آن را بالاتر از ارتفاع جریان طرح در نظر می گیرند. قابل ذکر است که این نوع ساختارها باعث ایجاد گردابه های خیلی قوی نیز می شوند. مصالح مصرفی در آنها از سنگ، گابیون و دیگر مصالح مقاوم می باشد.

Drop Structure: این نوع از سازه های کنترل جریان جهت تثبیت بستر رودخانه و انحراف جریان به دور از دیواره ها در پروفیل طولی و هم چنین کاهش شیب کانال و همچنین ایجاد زیستگاه هایی جهت آبیان می شود که معمولاً از بتن، سنگ، الوار، سپر فولادی و گابیون و .. ساخته می شود.

Guide banks: نوع دیگری از سازه های کنترل جریان می باشند که بیشتر جهت محافظت از پایه های پل در برابر فرسایش و همچنین محافظت از زیر ساخت ها کاربرد دارد، از نظر زیبا شناسی در پروژه های باز سازی جریان نامناسب می باشد از ویژگی های آن می توان به کاهش جدا شدگی جریان و جوشاب و ایجاد مقطع بیضوی در رودخانه اشاره نمود. قابل ذکر است این ساختارها دارای پوشش سنگ ریزه ای می باشند. این سازه ها از سرریز شدن سیلاب در داخل دشت سیلابی جلوگیری می کنند و باعث می شوند جریان در کانال های اصلی حرکت کند. ولی این حاکرین ها در مقابل جریان های سیلابی قابلیت فرسایش دارند و ممکن است بخش وسیعی از زمین های مجاور را اشغال کنند.

Bend way weirs: نوعی سازه کنترل جریان می باشد که باعث افزایش پایداری جانبی جریان و مسیر رودخانه، افزایش ناوبری کانال در خم ها، کاهش سرعت جریان در دیواره خارجی، ایجاد مسیر بهتر و مناسب تر جریان در طول خم ها و مقاطع عرضی پایین دست شده و همچنین دارای عملکرد نامناسب در ته نشینی رسوبات و آبستنگی بوده و دارای موقعیتی تماس بر خطوط جریان و متقاطع با دیواره در میان جریان می باشد.

Spure (آب شکن): این سازه ها دیواره های عرضی هستند که در کناره ساحل رودخانه ساخته شده و با دور کردن جریان از ساحل و متمرکز کردن آن در وسط به حفاظت دیواره ها کمک می کنند. آب شکن ها به دو صورت نفوذپذیر و نفوذناپذیر ساخته می شوند .

نفوذپذیری آب شکن موجب میرا شدن سرعت جریان گردیده و ته نشینی رسوبات را تسهیل می نماید. ولی آب شکن های نفوذناپذیر باعث دفع جریان یا تغییر جهت جریان می شوند. آب شکن های نفوذپذیر به علت نداشتن بدنه صلب ، آسیب پذیری کمتری نسبت به تغییر شکل محدود دارند . هم چنین به علت عدم تغییر شکل ناگهانی خطوط جریان؛ جریان های گردابی با شدت کمتری از آبشکن های نفوذناپذیر به وجود می آید و در نتیجه آبشستگی موضعی محدودتر خواهد بود، ولی آب شکن های نفوذناپذیر مقاومت کافی در مقابل نیروهای ناگهانی اعمالی از سوی اجسام خارجی مانند یخ های شناور، کنده های چوب و ... ندارند.

ELJ (الوارهای چوبی تنظیم شده): با توجه به اینکه محور اصلی پایان نامه در این مورد می باشد توضیحات مربوطه در فصل دوم ارائه شده است.

## پیوست ۲:

### دستورالعمل ها و توصیه ها:

مقدمه:

دوام و عملکرد سازه های کنترل جریان رودخانه بستگی به اجرای مناسب، نگهداری و مرمت مداوم آنها دارد. از این رو توصیه های کلی برای اجرا و نگهداری این سازه ها ارائه می گردد.

### نکات عمومی در اجرای سازه های کنترل جریان:

اغلب راه حل های آزمون و خطا در حل مسائل فرسایش کاربرد دارد، اما این روش می تواند خیلی پر هزینه و گاهی بی نتیجه و دارای فرایندی زمان بر باشد. در اینجا چند نکته اساسی برای لحاظ این موضوع قبل از آغاز اجرای پروژه ارائه می شود:

▪ سعی شود دقیقاً آن چه در طی سال های قبل در طول ساحل رودخانه رخ داده و دارای تغییر است، تشخیص داده شود. بحث و گفتگو در مورد فوق با همسایه ها یا ساکنین بومی منطقه می تواند مفید باشد. این موضوع می تواند به تلاش برای پیش بینی روند تغییرات و حل مسائل آینده کمک کند.

■ آیا پروژه ای که در حال برنامه ریزی آن هستید به مسائل جدیدی منجر می شود؟ آیا طرح هایی که ریخته اید کفایت می کند؟ برای مثال اگر انجام یک پروژه اندازه عرض کانال را تنگ کند، آیا می تواند باعث ایجاد سیلاب در بالادست گردد؟ هم چنین ، یک جریان جمع شده می تواند جریان سریع تری ایجاد کند، و این باعث مسائل فرسایشی بدتر در پایین دست شود. به یاد داشته باشید که حفاظت ساحل رودخانه اغلب نیازمند تلاشی قابل ملاحظه و اغلب نیازمند مصالح سنگی بزرگ است. توصیه های اولیه یا پیشنهادات آغازین نیازمند استفاده از کارشناسان مجرب می باشد بخصوص اگر در آغاز یک بازسازی بسیار گران و پیچیده هستید. از این که بر وظایفتان مسلط هستید، اطمینان پیدا کنید.

■ اگر جریان رودخانه مقدار زیادی اشیا شناور و آشغال حمل می کند یا دارای قطعات یخ در زمان ذوب شدگی در فصل بهار است، روش کنترلی انتخاب شده با این نوع آوردهای رودخانه ای ، نباید خسارات دیده و به سادگی تخریب شود.

■ در تمام پروژه های حفاظت ساحل رودخانه ای لازم است در طول ساحل از نقاط پایدار شروع و به نقاط پایدار پایان یابد. این محل ها، نواحی هستند که تحت تاثیر فرسایش نبوده یا آن که نیروی اصلی جریان موازی با ساحل رودخانه است.

■ ساختمان پروژه، از بالادست آغاز می شود و کار به سمت پایین دست با مصالح طبیعی مقاوم به فرسایش، شکل می گیرد.

■ روشی که برای حفاظت ساحل ، بکار می رود باید دارای سطح زیر یا ناهموارتر از کانال های طبیعی باشد، این امر سرعت جریان در مجاورت ساحل را آرام کرده و موجب کاهش تصادم های فرسایشی ناشی از مصالح رودخانه ای می شود.

■ پیش بینی های لازم برای نگه داشت مستمر پروژه فراهم گردد. خسارت سیل و فرسایش باید در هر زمان برآورد گردد، به عبارتی داشتن دستورالعمل مناسب اجرای سریع بازسازی ضروری است. نظارت



- مستمر و دوره ای بر پروژه نیز لازم است. این موضوع مخصوصاً تا کنترل ساحل پس از عبور سیلاب به سمت پایین دست اجرا می شود. اجرای تعمیرات اساسی قبل از وقوع سیلاب بعدی ضروری است.
- اجرای سازه های کنترل فرسایش در رودخانه می بایست در زمان کم آبی صورت گیرد تا هزینه های انحراف آب در حین ساخت به حداقل برسد.
- برای نقطه شروع اجرای سازه ها باید موقعیت منابع قرضه جهت حمل مصالح در نظر گرفته شود. به طور مثال در صورتی که مصالح از پایین دست به بالادست و در داخل آبراهه حمل می شود، نقطه شروع اجرای سازه ها باید از بالادست باشد.
- در انتخاب شیوه اجرا باید امکانات و استعدادهای محلی و منطقه ای طرح مد نظر قرار گیرد تا سبب صرفه جویی در هزینه های اجرایی گردد.
- لازم است کلیه علف ها، درختچه ها و شاخ و برگ و سنگ های موجود در بستر کار قبل از اجرای پوشش برداشته شود.
- در اجرای پوشش یکپارچه، تماس یکپارچه و پیوسته با خاک زیرین، مهمترین نکته ای است که باید مد نظر قرار گیرد.
- سطح زیرین باید به خوبی صاف و شیب بندی شود تا پوشش روی سطح زمین قرار گیرد.

#### نکات عمومی در نگهداری سازه های کنترل جریان:

اهمیت نگهداری کمتر از اهمیت طراحی و اجرای سازه های کنترل جریان نیست. چه بسا سازه هایی که مناسب طراحی و اجرا شده اند ولی به دلیل اینکه برای نگهداری آن ها برنامه ریزی مناسب صورت نگرفته، بر اثر ایرادات جزئی که در مدت عملکرد سازه به وجود آمده، کارایی آنها از دست رفته است. از این رو سازه های کنترل فرسایش و ساماندهی رودخانه باید به طور منظم و هر ساله و هم چنین بعد از هر سیلاب مورد بازرسی قرار گیرد و سازه های تخریب شده و یا فرسایش های موضعی ایجاد شده در

اطراف سازه ترمیم شود. در اینجا توصیه های کلی برای نگهداری سازه های کنترل فرسایش و رسوب در رودخانه ارائه می شود. با رعایت موارد ذیل فرسایش کناری رودخانه به حداقل می رسد:

▪ تا فاصله ۶ متری از ساحل، زراعت و دامپروری نشود. استفاده از پوشش گیاهی ثابت که ریشه های آن، پایدار کننده خاک است، از ریزش کناره ها جلوگیری کرده و حفاظت محدوده مورد نظر نیز تامین خواهد شد.

▪ سربار اضافی از کناره های ساحل دور نگه داشته شود. بدنه درختان مرده، آثار مخروبه و آوار، ساحل را از بین می برد و نباید نزدیک تر از ۶ متری ساحل ریخته شوند. هم چنین سعی شود تا از عملکرد ماشین آلات کشاورزی در این ناحیه اجتناب گردد. سربار اضافی در مجاورت کناره های رودخانه زمین آن را تضعیف کرده و باعث شکسته شدن ساحل و لغزیدن آن به سوی کانال جریان می گردد.

▪ حتی الامکان از چرای دام در کناره ها اجتناب شود. کمبود پوشش گیاهی و پایمال کردن زمین و فروریختن ساحل توسط دام، مشارکت جدی در فرسایش و مسائل آلودگی تلقی می گردد. هر گاه جریان آب رودخانه، منبع اصلی آب برای دام باشد، از حصارکشی استفاده شود تا ناحیه ای که دام می تواند به رودخانه برسد، محدود و یا کنترل شود. ترجیحاً محل آب خوری در ساحل شیب دار نباشد.

▪ معمولاً محل آب خوری دام در خم داخلی کانال در جایی که سرعت جریان آب آرام است، قرار می گیرد.

▪ وجود بار رسوبات، موانع، کنده درختان، توده های آشغال، رشد علف های هرز و دیگر گیاهان دربستر کانال، اغلب جریان را به سوی جریان کناری هدایت می کنند. بنابراین، هر گونه انسدادی در مسیر جریان باید از کانال جریان پاک سازی شود. معمولاً این موضوع اولین قدم در به عهده گرفتن حفاظت است و در بسیاری از حالات، فقط پیمایش و اقدام به پاک سازی مورد نیاز است..

- انحراف رواناب سطحی یا زهکشی در مناطقی که پتانسیل فرسایش ساحلی وجود دارد، انجام شود. جریان سریع آب به پایین یک شیب تند باعث افزایش فرسایش خواهد شد. در محلی که رواناب می تواند به جریان رودخانه وارد شود، با نصب یک کالورت یا آبشار کوچک (شیب شکن) انرژی را مستهلک کرده و سواحل آن را محافظت کنید.
- در محل هایی که تراوش آب از کرانه ها مشاهده می شود زهکشی های زیرزمینی نصب شود. رطوبت زیرین خاک یا زه کشی آب های زیرزمینی می تواند خاک را سست کرده و آن را حرکت دهد.
- گیاهان را در حالت و وضعیت شاداب نگهداری کنید و تا حد ممکن نوع، تنوع و تراکم پوشش گیاهی در طول ساحل جریان را کنترل کنید.
- برای جلوگیری از آسیب رساندن حیوانات، درختان آسیب پذیر حداقل ۱ متر بالاتر از سطح زمین با توری های سیمی مارپیچ محافظت شوند.
- باید برنامه منظم و دوره ای برای بازدید از سازه های کنترل فرسایش و رسوب در رودخانه تدوین و به اجرا گذاشته شود .
- خصوصاً در پایان فصل خشک و قبل از فرارسیدن فصل پرباران و هم چنین بعد از وقوع سیلاب های شدید نیز باید بازدید صورت گیرد و اقداماتی که برای نگهداری سازه ها لازم است، مشخص گردد.
- پس از بازدید های صورت گرفته و براساس برنامه ریزی انجام شده برای نگهداری، خرابی های ایجاد شده در سازه باید ترمیم شوند.
- در بازدیدها و در مرحله نگهداری از سازه های کنترل فرسایش و رسوب در رودخانه، ممکن است نیاز به بازنگری در طراحی سازه ضروری به نظر برسد که باید انجام شود.

## Abstract:

Engineered log jams (ELJs) is the most attractive alternatives for river restoration and bank stabilization in-stream improvements. because the effects of ELJs on turbulent flow and the fluid forces acting on the ELJs are not well known completely, by introducing this item and stream pattern around of control structure could inform design criteria.

In this study, used from the result of a fixed-bed physical model that was scaled from a prototype Big Sioux River to assess the introduction of ELJs along the river. Two ELJ types were examined, referred to as ELJ-1 and ELJ-2. Both types were deflector jams, where ELJ-1 was rectangular and ELJ-2 was triangular, and with one side attached to the channel bank.

Although for developed of different type of numerical model, deployed either as single structures or in groups of two or three on the same side of the channel and at different distances from each other.

Results show that:

(1) mean and turbulent velocities and bed shear stresses were derived altered near the ELJ, but also whole of stream characteristic upstream and downstream of the structure by exiting from effectiveness region was unaffected

(2) stream wise drag forces derived for the ELJs were significantly larger than the transverse forces, and the derived drag coefficients for the single structures were 2.72 for ELJ-1 and 1.60 for ELJ-2

and (3) in presence of an upstream structure created effectiveness and wake region that extended a distance of 30 flow depths downstream, which greatly reduced drag and coefficient drag that applied to downstream structure about 80 percent.

These result are further evidence of the efficacy of ELJs in providing near-structure scour pool development generally, and bank protection downstream.

So we could use from ELjs structure as the most economical and the most efficient types of control structure in river restoration and bank Stabilization projects.

Keywords: Control Structure, Engineered log jams; Numerical model; Bank protection; Drag forces.



Faculty of Civil Engineering

MSe Thesis in Hydraulic Structure

## **Numerical Model of Engineered Log Jams Application in The River**

By: Mohammad Saleh Ghayour Halaj

Supervisor(s):  
Dr. Amir abbas Abedini

September .2017