

تغییرات درجه میان‌بری و شکل پیچانرود در قسمتی از رودخانه کارون با استفاده از فناوری سنجش از دور

صالح یوسفی¹، مهدی وفاخواه^{2*}، سمیه میرزایی³ و شهلا توانگر⁴

چکیده

پیچانرودها (چم‌ها) از شاخصه‌های مهم تغییرات محیطی به شمار می‌آیند. پژوهش حاضر برای اولین بار در کشور برای بررسی تغییرات درجه میان‌بری و شکل پیچانرودها در رودخانه کارون با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM+ ماهواره لندست سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۴ به کمک سنجش از دور انجام شد. در این پژوهش پارامترهای مورفولوژیکی ۲۰ پیچانرود در بازه‌ای به طول ۱۲۸ کیلومتر از رودخانه کارون برای هر دوره تعیین شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین t جفتی نشان داد که تغییرات در مقدار درجه میان‌بری در طی سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۴ دارای اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد است. برای تعیین تأثیر تغییرات برخی از پارامترهای پیچانرود بر تغییرات درجه میان‌بری از مدل رگرسیون خطی چند متغیره استفاده شد. نتایج مدل نشان داد که در صورت تغییر در درجه میان‌بری تغییرات دامنه پیچ و خم در کناره نیز به صورت کاهشی است. همچنین نتایج همبستگی اسپیرمن نشان داد که تغییرات در پارامترهای درجه میان‌بری و حالت شکل پیچانرود به شدت به یکدیگر وابسته هستند. به طوری که همبستگی معنی‌داری بین تغییرات درجه میان‌بری و شکل پیچانرود در سطح معنی‌داری یک درصد وجود دارد. به طوری که با افزایش درجه آب‌بندی اشکال پیچانرود نیز به صورت U و Ω شکل در می‌آیند و پیچانرود تمایل به بسته شدن پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پیچانرود، درجه آب‌بندی، رودخانه کارون، سنجش از دور، مورفولوژی رودخانه.

ارجاع: یوسفی ص. وفاخواه م. میرزایی س و توانگر ش. ۱۳۹۲. تغییرات درجه میان‌بری و شکل پیچانرودها در قسمتی از رودخانه کارون با استفاده از فناوری سنجش از دور. مجله پژوهش آب ایران. ۷(۱۳): ۷۹-۸۷.

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه لرستان.

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

* نویسنده مسئول: vafakhah@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۱۰

مقدمه

خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها به علت پویایی آن‌ها همیشه در حال تغییر است. پیچان‌رودها^۱ از جمله چشم‌اندازهای بسیار زیبا در حوضه‌های آبخیز هستند که در اثر عوامل مختلفی تشکیل می‌شوند. پیچان‌رودها اشکال مهم ژئومورفولوژیکی- هیدرولوژیکی^۲ هستند و به لحاظ جابه‌جایی‌های مکانی که در محدوده دشت‌های سیلابی انجام می‌دهند، موجب تغییر ابعاد ریخت‌شناسی بستر جریان رودخانه و دشت‌های سیلابی می‌شوند. این پدیده‌ها به علت پویایی زیادی که دارند، مسایل و مشکلات عمده‌ای را نیز در محدوده‌های تشکیل به وجود می‌آورند (بیاتی خطیبی، ۱۳۹۰؛ ایمران و همکاران، ۱۹۹۹). پیچان‌رودها، که از شاخصه‌های مهم تغییرات محیطی و از نشانه‌های بارز وقوع تحول در بستر جریان آب‌ها به شمار می‌آیند، عامل بروز تغییرات حیاتی در بستر جریان رودخانه‌ها محسوب می‌شوند (دای و همکاران، ۲۰۰۸). تغییرات در میزان بار رسوبی، تغییرات در شیب، اقلیم، ایجاد سد و بندها و همچنین دخالت و تجاوز بشر به حریم رودخانه و تغییر کاربری اراضی اطراف رودخانه می‌تواند زمینه را برای تشکیل پیچان‌رودها در مسیر جریان رودخانه فراهم سازد (لوفتهوس و روبرت، ۲۰۰۸؛ لاگاس و همکاران، ۲۰۰۴؛ پروکا و همکاران، ۲۰۰۶؛ کامپورل و ریدولفی، ۲۰۱۰). تغییر در پارامترهای پیچان‌رود می‌تواند ناشی از تغییرات توسط بشر، تغییر در رژیم هیدرولوژی رودخانه، تغییرات اکولوژیکی و یا ناشی از ژئومورفولوژی منطقه باشد (الرو و پلیسر، ۱۹۹۱؛ کابزاس و همکاران، ۲۰۰۸) تغییرات در پارامترهای پیچان‌رود می‌تواند از دیدگاه‌های مختلفی مانند شهرسازی، سدسازی، فرسایش و رسوب و جاده‌سازی مهم باشد (کروستو، ۲۰۰۹؛ هئو و همکاران، ۲۰۰۹). از آن جا که نیروی گریز از مرکز فشارهای برشی را در سطح مشترک آب و خاک افزایش می‌دهد، پیش‌بینی حرکت پیچان‌رودها امری ضروری است. در رابطه با تغییرات پارامترهای پیچان‌رود و عوامل مؤثر بر این تغییرات مطالعات زیادی به خصوص در خارج از کشور صورت گرفته که در ذیل به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. یانگ و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای به آشکارسازی تغییرات خط ساحلی دلتای رودخانه زرد چین با استفاده

از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که رودخانه از حالت شریانی^۳ مستقیم به پیچان‌رودی ضعیف تغییر شکل داده است. تیمر (۲۰۰۳) با بررسی روش‌های کنترل تغییرات رودخانه‌های پیچان‌رودی بر روی رودخانه تیسزا نتیجه گرفت که پیچان‌رودی شدن رودخانه به شدت تحت تأثیر موقعیت گسل‌ها و فرونشست‌های غیرعادی است. چو و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای روی رودخانه زرد در چین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور مناطق بیشترین فرسایش و تغییر را شناسایی کردند. الرو (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای در رودخانه^۴ در اسپانیا به بررسی تغییرات مورفولوژیکی و جابجایی رودخانه طی ۸۰ سال پرداخت. نتایج ایشان نشان داد که در طول دوره مورد مطالعه این رودخانه دارای تغییرات زیادی بوده است و در برخی مناطق رودخانه تا بیشتر از ۷ کیلومتر جابه‌جا شده است. از محققان دیگری که در این زمینه مطالعه نموده‌اند می‌توان به اربیلارئا و همکاران (۲۰۰۳)، نیکول و هیکیکن (۲۰۱۰) و مقدالانو و فرناندز-یوست (۲۰۱۱) اشاره کرد. فرخی و همکاران (۱۳۸۴) با بررسی تغییرات پلان رودخانه دز با استفاده از سنجش از دور و GIS نتیجه گرفتند که رودخانه بیشتر از الگوی پیچان‌رودی تبعیت می‌کند و سواحل آن جابه‌جایی زیادی داشته است. ارشد و همکاران (۱۳۸۶) روند تغییرات مورفولوژی رودخانه کارون را بر اساس چهار سری تصاویر ماهواره Landsat و IRS بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات قوس‌ها در حال تغییر است و تراکم و اندازه انحنای قوس‌ها به سمت پایین دست جابه‌جا شده است. رضایی‌مقدم و خوشدل (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای در آذربایجان شرقی به بررسی پیچ و خم‌های اهرچای پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که بیشترین درصد پیچان‌رود مربوط به پیچان‌رودهای دارای سینوسیته بالای ۱/۵ است. ایشان علت اصلی تغییرات پیچان‌رودها طی دهه‌های اخیر را تعرض افراد بومی به حریم رودخانه دانستند. مقصودی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای بر روی روند تغییرات الگوی مورفولوژی رودخانه خرم‌آباد با استفاده از RS و GIS بیان کردند که تعداد پیچان‌رودها طی دوره مطالعاتی افزایش یافته و علت اصلی این تغییرات را تغییر کاربری اراضی منطقه و دخل و تصرف انسان به رودخانه دانستند. از پژوهش‌گران ایرانی دیگر که در این

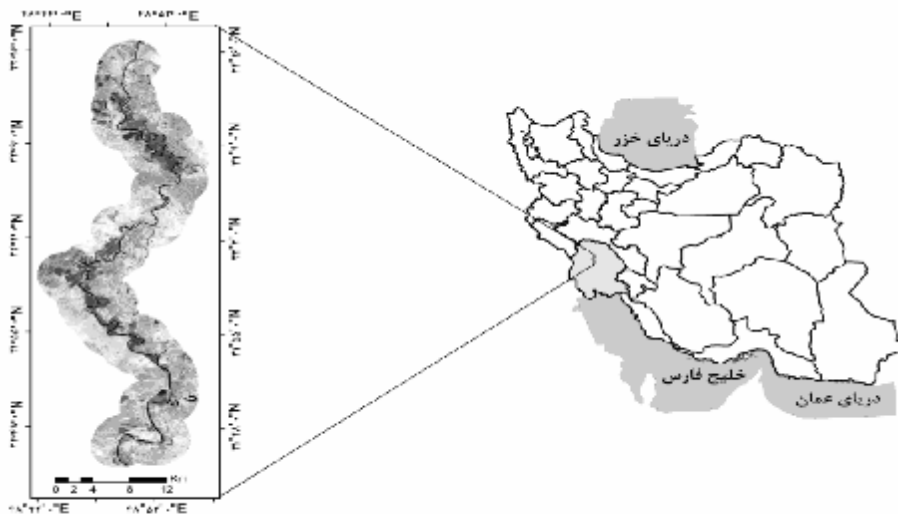
3- Braided
4- Ebro

1- Meander rivers
2- Geomorphologic- hydrologic

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بازه‌ای از رودخانه کارون می‌باشد که در طول جغرافیایی $27^{\circ} 47' 48''$ تا $48^{\circ} 40' 52''$ شرقی و عرض $31^{\circ} 45' 03''$ تا $32^{\circ} 45' 16''$ شمالی قرار گرفته است. در این پژوهش تا فاصله ۳ کیلومتر از رودخانه بررسی شد. مساحت محدوده مطالعاتی ۵۰۹۷۵ هکتار است که شهرهای شوشتر و گتوند را نیز پوشش می‌دهد. زمین‌شناسی منطقه از نوع آبرفت‌های کواترنری و سازندهای آماجاری و بختیاری است. همچنین کاربری‌های اراضی منطقه بیشتر از نوع کشاورزی، مسکونی و کوهستان بوده و دارای اقلیم گرم و مرطوب است (شکل ۱).

زمینه پژوهش کرده‌اند می‌توان به احمدیان یزدی (۱۳۸۰)، رنگزن و همکاران (۱۳۸۷)، یمانی و همکاران (۱۳۸۵)، محمدی استادکلایه و همکاران (۱۳۸۶) و بیاتی خطیبی (۱۳۹۰) نیز اشاره کرد. با آگاهی از میزان تغییرات در پارامترهای پیچانرود در یک منطقه می‌توان آینده پیچانرود و رودخانه‌ها را پیش‌بینی کرد. پژوهش حاضر برای بررسی تغییر پارامترهای درجه میان‌بری و شکل پیچانرود در قسمتی از رودخانه کارون که مهم‌ترین رودخانه پیچان کشور است، انجام شد. لازم به ذکر است که مطالعه روی تغییرات درجه میان‌بری برای اولین بار در کشور در پژوهش حاضر صورت گرفته است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

تصحیح هندسی با تعداد ۲۹ نقطه کنترل زمینی و میزان خطای ریشه مربعات (RMSE) $0/34$ پیکسل (15×15 متر) انجام شد.

برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی، ابتدا برای کاربری‌های موجود در منطقه با استفاده از بازدیدهای میدانی و دستگاه GPS نمونه‌های تعلیمی برای هر کاربری تهیه گردید. نمونه‌های تعلیمی به دو دسته تقسیم‌بندی گردید، یک دسته جهت استفاده در طبقه‌بندی و دسته دوم برای بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده شد (جدول ۱). برای اطمینان از گزینش صحیح نقاط با توجه به این که تصاویر انتخاب شده مربوط به سال‌های گذشته هستند

در این پژوهش از داده‌های سنجهش از دور شامل تصاویر سنجنده‌های TM و ETM+ ماهواره Landsat، مورخ سوم خرداد ۱۳۶۸ و پانزدهم خرداد ۱۳۸۴ و همچنین نقشه توپوگرافی $1:50000$ منطقه که از سازمان نقشه‌برداری کشور با فرمت رقومی تهیه شدند استفاده شد.

برای اعمال تصحیح هندسی روی تصاویر با استفاده از روش نقشه به تصویر (جیریراج و همکاران، ۲۰۰۸)، ۳۴ نقطه کنترل زمینی روی لایه‌های برداری جاده‌ها و آبراهه‌ها استخراج شده از نقشه توپوگرافی انتخاب و نقاط متناظر آن‌ها روی تصویر تعیین شد. پس از به کارگیری روش ناپارامتری چند جمله‌ای و حذف نقاط نامناسب،

پارامترهای پیچانورد

به کمک نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده برای هر دوره، رودخانه از نقشه استخراج گردید. برای بررسی تغییرات پارامترهای مطالعاتی در طول بازه مطالعاتی ۲۰ پیچانورد انتخاب شد (شکل ۳). پارامترهای عرض جریان^۲ (W)، طول جریان^۳ (S) و دامنه پیچ و خم در کناره^۴ (L) با توجه به شکل ۴ برای هر یک از پیچانورها در سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۴ در محیط نرم‌افزارهای AUTOCAD2009 و ARCGIS9.3 اندازه‌گیری شد و ضریب خمیدگی^۵ (C) پیچانورد با استفاده از معادله ۱ و درجه میان‌بری^۶ پیچانورد (e) با معادله ۲ (بین و همکاران، ۲۰۰۸) برای هر یک از پیچانورها در سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۴ محاسبه شد (جدول ۳).

$$C = \frac{S}{L} \quad (1)$$

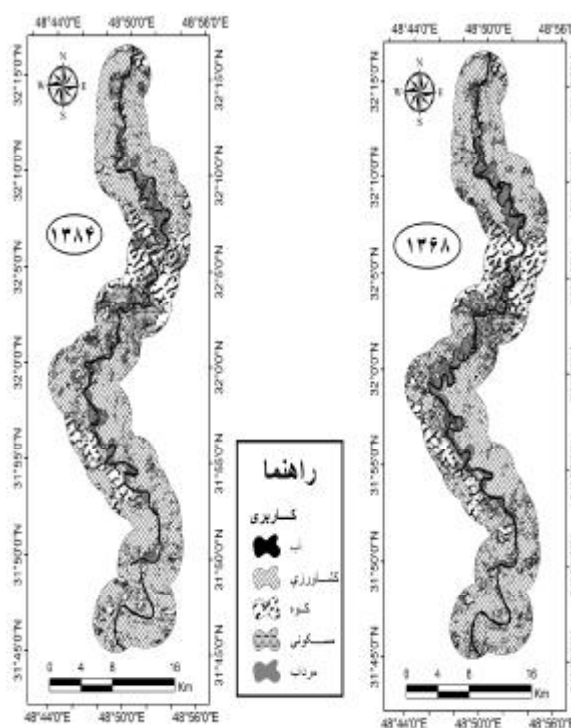
$$e = \frac{S}{(S+L)} = \frac{C}{(C+1)} \quad (2)$$

شکل اساسی پارامتر هندسی سطحی می‌تواند به شکل‌های U ، V و Ω باشد. اگر خط عمود بر محور از قسمت رأس تا گردن پیچانورد به طور مداوم بزرگتر شود پیچانورد V شکل است. اگر خط فرضی مورد نظر ابتدا بزرگتر شود و سپس ثابت بماند پیچانورد U شکل است و اگر این خط ابتدا بزرگ شود و سپس کوچک شود پیچانورد از نوع Ω محسوب می‌شود. در کل پیچانوردهای V شکل تحت عنوان ساده، پیچانوردهای U شکل تحت عنوان نادر و پیچانوردهای Ω شکل جزو پیچانوردهای بسیار نادر طبقه‌بندی می‌شوند (بین و همکاران، ۲۰۰۸). درجه میان‌بری به این صورت تفسیر می‌شوند، زمانی که ضریب خمیدگی پیچانورد به طرف بی‌نهایت میل می‌کند درجه میان‌بری به طرف یک میل می‌کند. درجه میان‌بری بین ۰/۵ و یک قرار دارد. زمانی که درجه میان‌بری بزرگتر می‌شود پیچانورد تمایل به بسته شدن دارد و جریان به صورت مستقیم در می‌آید. یعنی زمانی که درجه میان‌بری به طرف یک میل می‌کند پیچانورد در اثر فرسایش بریده می‌شود (بین و همکاران، ۲۰۰۸).

از افراد بومی منطقه، برای اطمینان از پایداری بیش از ۱۶ سال نمونه‌های تعلیمی استفاده گردید (سفیانیان، ۱۳۸۸). نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان^۱ برای هر دوره تهیه شد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰). در پژوهش حاضر از باندهای ۱، ۵ و ۷ این تصاویر برای طبقه‌بندی استفاده شد (ونتز و همکاران، ۲۰۰۶) (شکل ۲).

جدول ۱- مشخصات نمونه‌های تعلیمی

| کاربری اراضی | نمونه تعلیمی | | | |
|--------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | طبقه‌بندی (هکتار) | ارزیابی (هکتار) | طبقه‌بندی (پیکسل) | ارزیابی (پیکسل) |
| مرداب | ۴۱/۴۸ | ۱۷/۲۶ | ۴۶۰ | ۱۹۲ |
| کشاورزی | ۴۶۹/۴ | ۱۳۷/۵۷ | ۵۲۱۵ | ۱۵۲۸ |
| مسکونی | ۶/۱۶ | ۱/۸۷ | ۶۸ | ۲۰ |
| آب | ۶/۳ | ۱/۷ | ۷۰ | ۱۸ |
| کوه | ۱۴۵/۷ | ۴۰/۳ | ۱۶۱۸ | ۴۴۷ |



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۴

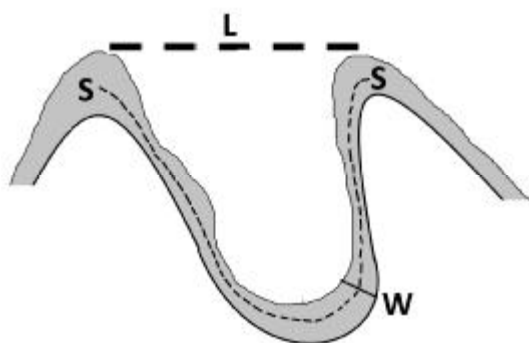
برای ارزیابی نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده از نمونه‌های تعلیمی اختصاص داده شده برای صحت طبقه‌بندی استفاده شد. برای ارزیابی از ضرایب کاپا و صحت کلی استفاده شد (جدول ۲).

2- River width
3- Watercourse length
4- Meander length
5- Sinuosity
6- Sealing degree

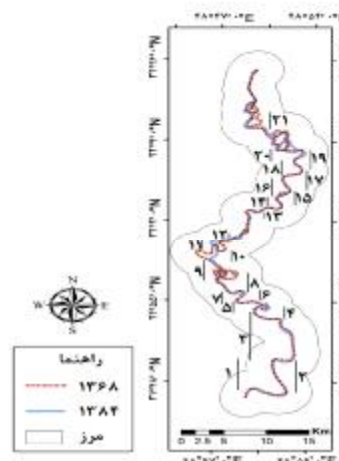
1- Support vector machine

جدول 2- ضرایب ارزیابی صحت طبقه‌بندی به روش نقاط کنترل زمینی

| ۱۳۸۴ | | | | | ۱۳۶۸ | | | | | سال |
|-----------------|-----------|----------|------------|---------|-----------------|-----------|----------|------------|---------|---|
| صحت تولید کننده | صحت کاربر | omission | commission | صحت کلی | صحت تولید کننده | صحت کاربر | omission | commission | صحت کلی | ضرایب |
| | | | | ۹۴/۵۱ | | | | | ۸۸/۱۸ | |
| ۸۸/۴۶ | ۱۰۰ | ۱۱/۵۴ | - | ۰/۸۹ | ۹۰/۳۸ | ۱۰۰ | ۹/۶۲ | - | ۰/۷۸ | آب مرداب کشاورزی کوه مسکونی |
| ۶۲/۸۹ | ۹۱/۷۳ | ۳۷/۱۱ | ۸/۲۷ | | ۷۶/۸ | ۹۸/۶۸ | ۲۳/۲ | ۱/۳۲ | | |
| ۹۸/۶۴ | ۹۳/۱۷ | ۱/۳۶ | ۶/۸۳ | | ۸۵/۴۱ | ۹۵/۱۱ | ۱۴/۵۹ | ۴/۸۹ | | |
| ۹۴/۴۱ | ۹۸/۰۲ | ۵/۹۵ | ۱/۹۸ | | ۹۸/۵۳ | ۷۹/۲ | ۱/۴۷ | ۲۰/۸ | | |
| ۱۰۰ | ۹۵/۴۵ | ۰ | ۴/۵۵ | | ۱۴/۵۷ | ۱۹/۶۷ | ۴۲/۸۶ | ۸۰/۳۳ | | |



شکل 4- پارامترهای پیچانرود



شکل 3- رودخانه و پیچانرودهای مطالعاتی

جدول 3- پارامترهای پیچانرود برای سال‌های 1368 و 1384

| ۱۳۸۴ | | | | | | ۱۳۶۸ | | | | | | |
|------|-------|-------------|-------------|---------|-----|------|-------|-------------|-------------|---------|-----|-------|
| C | e | S (کیلومتر) | L (کیلومتر) | W (متر) | شکل | C | e | S (کیلومتر) | L (کیلومتر) | W (متر) | شکل | شماره |
| ۲/۰۴ | -۰/۶۷ | ۱۰/۴۲ | ۵/۱ | ۱۷۳ | V | ۱/۸۹ | -۰/۶۵ | ۵/۴۴۴ | ۲/۲۱ | ۲۵۳ | V | ۱ |
| ۱/۵۳ | -۰/۶۰ | ۸/۵۱ | ۵/۵۸ | ۱۵۳ | V | ۱/۵۴ | -۰/۶۱ | ۸/۳۱ | ۵/۴ | ۲۱۷ | V | ۲ |
| ۱/۶۷ | -۰/۶۴ | ۱۴/۰۹ | ۸/۴۳ | ۱۷۲ | U | ۱/۶۸ | -۰/۶۳ | ۱۳/۲۳ | ۷/۸۷ | ۲۳۱ | U | ۳ |
| ۲/۷۱ | -۰/۷۳ | ۶/۲۳ | ۲/۳ | ۱۱۲ | Ω | ۲/۰۴ | -۰/۶۷ | ۵/۶۳ | ۲/۷۶ | ۱۵۲ | U | ۴ |
| ۳/۰۲ | -۰/۷۵ | ۷/۵۱ | ۲/۴۹ | ۱۷۱ | Ω | ۲/۱۷ | -۰/۶۸ | ۶/۳۹ | ۲/۹۴ | ۲۱۴ | U | ۵ |
| ۲/۱۷ | -۰/۶۸ | ۵/۱۲ | ۲/۳۶ | ۱۷۳ | U | ۱/۱۵ | -۰/۵۳ | ۴/۰۵ | ۳/۵۳ | ۲۱۸ | V | ۶ |
| ۳/۱۰ | -۰/۷۶ | ۴/۳۷ | ۱/۴۱ | ۱۷۴ | Ω | ۱/۳۲ | -۰/۵۷ | ۳/۳۵ | ۲/۴۶ | ۱۹۶ | U | ۷ |
| ۱/۸۲ | -۰/۶۷ | ۶/۷۴ | ۳/۷ | ۱۸۸ | U | ۲/۲۶ | -۰/۶۴ | ۷/۴۵ | ۳/۳ | ۱۹۰ | Ω | ۸ |
| ۱/۵۶ | -۰/۶۱ | ۵/۱۸ | ۳/۳۲ | ۲۱۲ | V | ۱/۷۸ | -۰/۶۴ | ۹/۵۶ | ۵/۳۸ | ۱۷۹ | Ω | ۹ |
| ۱/۴۴ | -۰/۵۹ | ۴/۹۷ | ۳/۴۶ | ۲۴۳ | V | ۳/۰۶ | -۰/۷۵ | ۱۱/۷۶ | ۳/۸۴ | ۱۸۷ | Ω | ۱۰ |
| ۱/۳۲ | -۰/۵۸ | ۳/۷۰ | ۲/۸۱ | ۱۵۴ | V | ۱/۳۶ | -۰/۵۸ | ۳/۴۸ | ۲/۵۶ | ۱۶۸ | V | ۱۱ |
| ۳ | -۰/۷۵ | ۳/۵۱ | ۱/۱۷ | ۲۱۵ | U | ۱/۹۰ | -۰/۶۵ | ۳/۴۵ | ۱/۸۲ | ۱۸۵ | V | ۱۲ |
| ۲/۲۸ | -۰/۶۹ | ۳/۸۵ | ۱/۶۹ | ۱۳۸ | U | ۲/۰۱ | -۰/۶۷ | ۳/۵۸ | ۱/۷۸ | ۱۷۱ | U | ۱۳ |
| ۱/۲۹ | -۰/۵۶ | ۳/۶۵ | ۲/۸۳ | ۱۷۳ | V | ۱/۴۰ | -۰/۵۸ | ۳/۸۳ | ۲/۷۳ | ۱۴۱ | V | ۱۴ |
| ۱/۳۳ | -۰/۵۷ | ۴/۷۹ | ۳/۶۱ | ۲۰۱ | V | ۱/۳۷ | -۰/۵۶ | ۵/۰۱ | ۳/۶۶ | ۲۴۸ | V | ۱۵ |
| ۱/۶۰ | -۰/۶۲ | ۵/۴۸ | ۳/۴۲ | ۱۶۸ | V | ۱/۵۱ | -۰/۶۰ | ۵/۳۰ | ۳/۵۲ | ۱۷۵ | V | ۱۶ |
| ۱/۷۶ | -۰/۶۴ | ۴/۸۵ | ۲/۷۵ | ۹۷ | V | ۱/۵۲ | -۰/۶۰ | ۴/۹۴ | ۳/۲۴ | ۱۳۲ | V | ۱۷ |
| ۱/۴۶ | -۰/۵۹ | ۴/۰۱ | ۲/۷۵ | ۱۵۸ | U | ۱/۱۹ | -۰/۵۴ | ۳/۸۱ | ۳/۲ | ۲۰۰ | V | ۱۸ |
| ۱/۹۷ | -۰/۶۶ | ۴/۳۲ | ۳/۱۶ | ۲۵۳ | U | ۱/۸۱ | -۰/۶۴ | ۵/۳۰ | ۲/۹۳ | ۲۶۷ | V | ۱۹ |
| ۱/۷۱ | -۰/۶۳ | ۸/۰۶ | ۴/۷ | ۱۷۰ | V | ۱/۶۱ | -۰/۶۲ | ۷/۳۹ | ۴/۵۹ | ۱۷۲ | V | ۲۰ |

نتایج و بحث

میان‌بری طی دو دوره از آزمون t جفتی استفاده شد (جدول ۴). نتایج آزمون نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تغییرات درجه میان‌بری طی سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۴ است.

درجه میان‌بری پیچانرودهای بازه مطالعاتی به کمک معادله ارائه شده برای سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۴ محاسبه شد (شکل ۵). جهت بررسی وجود اختلاف در درجه



شکل 5- نمودار تغییرات پیچانرود برای سال‌های 1368 و 1384

جدول 4- نتایج آنالیز آزمون t جفتی درجه آبندی رودخانه

| پارامتر پیچانرود | میانگین | انحراف از معیار | مقدار t | درجه آزادی | Sig. |
|------------------|----------|-----------------|-----------|------------|-------|
| درجه میان‌بری | -0/03855 | 0/05546 | -3/109 | 19 | 0/006 |

مورد آزمون قرار گرفت. نتیجه آزمون نشان دهنده این است که داده‌ها در سطح پنج درصد نرمال هستند. سپس از رگرسیون خطی چند متغیره برای بررسی تأثیر تغییرات پارامترهای پیچانرود بر تغییرات درجه میان‌بری استفاده شد. بدین صورت که اختلاف بین پارامترهای مورد مطالعه در هر پیچانرود تعیین و بین آن‌ها رابطه رگرسیونی برقرار شد. نتایج نشان داد که ضریب تبیین (معادله ۳) مدل ارائه شده 0/97 است و همچنین نتایج آنالیز واریانس نشان داد که مدل ارائه شده در سطح 1 درصد معنی‌دار است. معادله رگرسیون به صورت معادله ۴ است (شکل ۶).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (e_o - e_{Ave-O})(e_E - e_{Ave-E})^2}{\sum_{i=1}^n (e_o - e_{Ave-O})^2 \sum_{i=1}^n (e_E - e_{Ave-E})^2} \quad (3)$$

$$e = 0.002 + 0.092C + 0.004W - 0.014L + 0.0001S \quad (4)$$

در این معادله، R^2 ضریب تبیین، e_o تغییر درجه آبنندی مشاهده‌ای، e_{Ave-O} میانگین تغییر درجه آبنندی مشاهده‌ای، e_E تغییر درجه آبنندی برآوردی و e_{Ave-E} میانگین تغییر درجه آبنندی برآوردی است. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات در دامنه پیچ و خم در کناره زمانی که درجه میان‌بری پیچانرود افزایش پیدا می‌کند به صورت کاهشی است. در صورت افزایش درجه

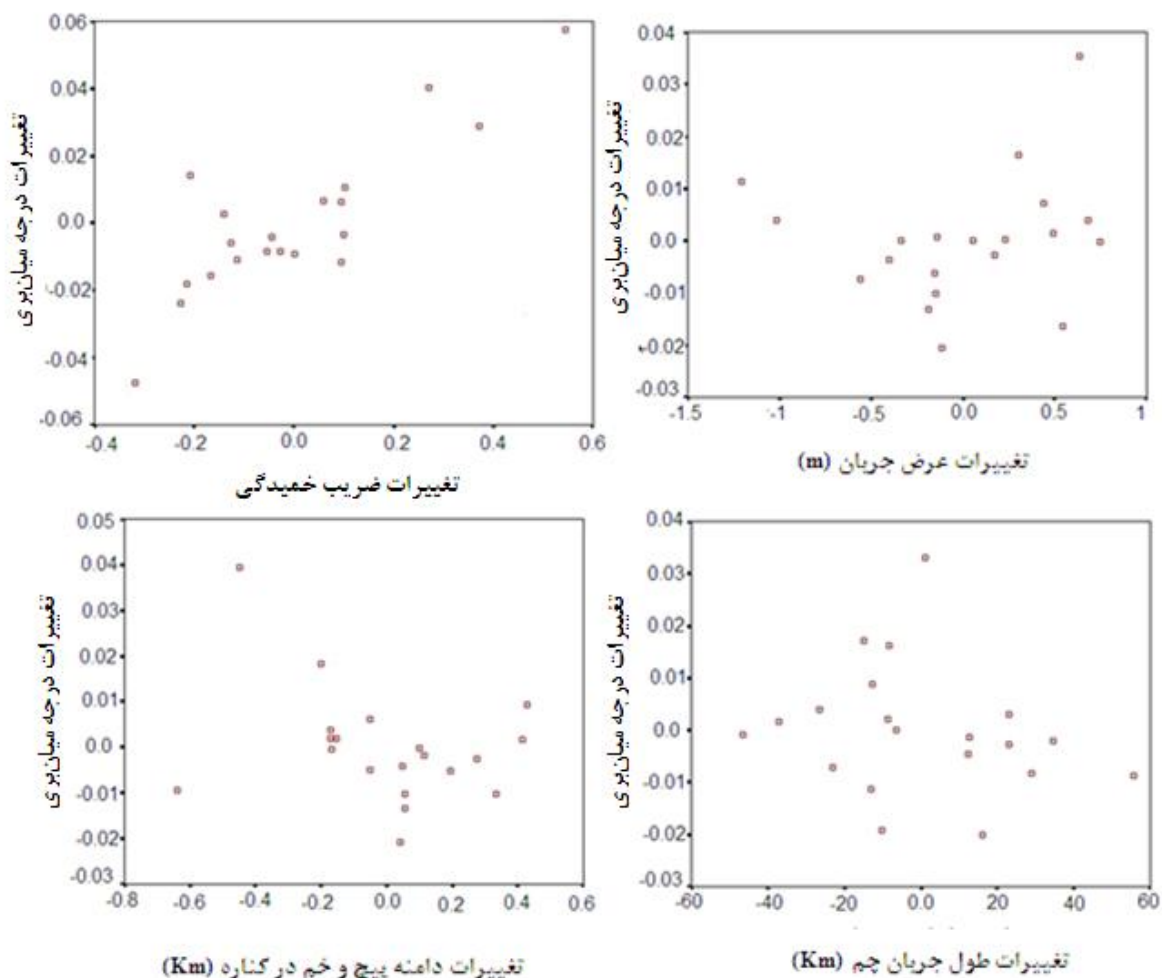
با توجه به شکل ۵ در ۱۲ عدد از پیچانرودهای مورد مطالعه مقدار درجه میان‌بری افزایش یافته است. این نتایج بیانگر این است که در اکثریت پیچانرودهای مطالعاتی پیچانرود به سوی بسته شدن می‌رود و این پیچانرودها از نظر سیلاب بسیار حساس هستند به طوری که در صورت بروز تغییرات اندک در رژیم هیدرولوژیکی و یا هیدرولیکی پیچانرود احتمال تغییر مسیر پیچانرود به مسیر مستقیم و در نتیجه آب گرفتگی مناطق خشک و ساحلی بسیار بیشتر است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که طی دوره مطالعاتی پیچانرودهای شماره ۹ و ۱۰ دارای کاهش بسیار زیاد درجه میان‌بری هستند که با توجه به نقشه‌های تهیه شده مربوط به سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۴ مشاهده می‌شود که مسیر پیچانرودی این مناطق تبدیل به مسیر مستقیم گشته است و در این مناطق برکه‌های شاخ گاو^۱ از رودخانه اصلی جدا شده‌اند.

برای بررسی تأثیر تغییرات پارامترهای پیچانرود بر تغییرات درجه میان‌بری، ابتدا نرمال بودن تغییر پارامترهای عرض جریان (W)، طول جریان (S)، دامنه پیچ و خم در کناره (L)، ضریب خمیدگی (C) و درجه آبنندی (e) با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف^۲

1- Oxbow lake
2- Colmogorov-Smirnov test

پیچدار به مسیر مستقیم سرعت آب نسبت به حالت اول خود بیشتر می‌شود، در نتیجه در طول مسیر مستقیم رسوب‌گذاری در بستر رودخانه بسیار پایین می‌باشد و به همین علت عرض رودخانه نیز نسبت به حالت پیشین و ابتدایی خود افزایش می‌یابد.

میان‌بری و نزدیک شدن آن به یک، پیچانورد به حالت بسته شدن میل می‌کند. در این صورت در اثر فرسایش خاک بستر رودخانه، در اثر جریان برشی در قوس‌ها مقدار فاصله مستقیم جریان آب و در نتیجه طول گردن پیچانورد کاهش می‌یابد. همچنین به علت تغییر مسیر



شکل 6- تغییرات درجه میان‌بری برحسب تغییرات ضریب خمیدگی، تغییرات عرض جریان، تغییرات دامنه پیچ و خم در کناره و تغییرات طول جریان پیچانورد

میان‌بری شکل پیچانوردها به طرف حالت‌های V و Ω شکل می‌رود.

در پژوهش حاضر برای اولین بار در کشور و در رودخانه کارون تغییرات درجه میان‌بری و حالت‌های شکل پیچانوردها در این رودخانه مطالعه شدند. با توجه به بازدیدهای انجام شده از منطقه و بررسی نقشه‌های تهیه شده کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۴ منطقه مطالعاتی رودخانه به خصوص در بستر سیلابی مورد تجاوز انسان قرار گرفته است. افراد ساکن در منطقه به دلیل مناسب بودن اراضی اطراف رودخانه به خصوص سواحل

برای بررسی رابطه بین تغییرات شکل پیچانورد و درجه میان‌بری با توجه به جنس داده‌ها روش صحیح آماری همبستگی اسپیرمن است (بی‌همتا و زارع چاهوکی، ۱۳۸۹). در این روش حالت‌های مختلف شکل پیچانورد به صورت کدهای عددی مشخص و همبستگی آن‌ها با درجه میان‌بری تعیین شد. نتایج همبستگی نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین تغییرات درجه میان‌بری و تغییرات حالت شکل پیچانوردهای مطالعاتی در سطح معنی‌داری یک درصد وجود دارد و ضریب همبستگی بین این دو ۰/۸۷۸ است. به طوری که با افزایش درجه

۳. بیاتی خطیبی م. ۱۳۹۰. بررسی پتانسیل خطر وقوع سیل در مسیر رودخانه‌های مئاندری، با استفاده از شاخص LFH مطالعه موردی: رودخانه شور (واقع در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۷۵: ۱-۱۸.
۴. بی‌همتا م. ر. و زارع چاهوکی م. ع. ۱۳۸۹. اصول آمار در علوم منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۰۰ ص.
۵. رضایی‌مقدم م. ح. و خوشدل ک. ۱۳۸۸. بررسی پیچ و خم‌های مئاندر اهرچای در محدوده دشت ازومدل ورزقان. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۲۰(۳۳): ۱۰۱-۱۱۲.
۶. رنگزن ک. صالحی ب. و سلحشوری پ. ۱۳۸۷. بررسی تغییرات منطقه پایین‌دست سد کرخه قبل و بعد از ساخت سد با استفاده از تصاویر چند زمانه Landsat. اولین همایش ژئوماتیک ایران. ۱-۱۱.
۷. سفینیان ع. ر. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات کاربری اراضی محدوده شهر اصفهان با استفاده از تکنیک آشکارسازی برداری تغییرات طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۷. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۳(۴۹): ۱۵۳-۱۶۴.
۸. فرخی ز. بارانی غ. ع. و ارشد ص. ۱۳۸۴. بررسی تغییرات پلان رودخانه دز با استفاده از سنجش از دور و GIS. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۱-۹.
۹. محمدی استاد کلایه ا. مساعدی ا. و علاقمند س. ۱۳۸۶. بررسی اثرات سیل مرداد ۱۳۸۰ گلستان بر مورفولوژی رودخانه مادرسو. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴(۱): ۲۲-۳۰.
۱۰. مقصودی م. شرفی س. و مقامی ی. ۱۳۸۹. روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه خرم‌آباد با استفاده از RS، GIS و Auto Cad. برنامه‌ریزی و آمایش فضای سبز. ۱۴(۳): ۲۷۵-۲۹۴.
۱۱. یوسفی ص. تازه م. میرزایی س. مرادی ح. ر. و توانگر ش. ۱۳۹۰. مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی شهرستان نور). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی. ۲(۲): ۱۵-۲۵.
۱۲. یمانی م. حسین‌زاده م. م. و نوحه‌گر ا. ۱۳۸۵.

آبرفتی و نیزارهای منطقه اقدام به شخم زمین و تغییر کاربری منطقه به کشاورزی داده‌اند. شخم زمین و از بین بردن پوشش گیاهی طبیعی رودخانه سبب سست شدن خاک و در نتیجه تخریب بیشتر به خصوص در قوس‌های بیرونی پیچانوردهای رودخانه شده است. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه پیچانوردها تکامل یافته‌تر و وسیع‌تر گشته‌اند. با توجه به نتایج در پیچانوردهایی که کاهش درجه میان‌بری وجود دارد مانند پیچانوردهای شماره ۹، ۱۰ و ۱۱ عمدتاً مسیر به صورت مستقیم در آمده و قسمتی از رودخانه به صورت برکه‌های شاخ گاوی جدا شده است. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج رضایی‌مقدم و خوشدل (۱۳۸۸)، که نشان دادند علت اصلی تغییرات و افزایش درجه سینوسیته رودخانه اهرچای ناشی از دخالت‌های انسانی است و همچنین با یافته‌های مقصودی و همکاران (۱۳۸۹)، که در رودخانه خرم‌آباد انجام دادند و دریافتند که در طول دوره مطالعاتی تغییرات در تعداد پیچانوردهای مسیر ناشی از تغییر کاربری اراضی و دخل و تصرف در رودخانه است همخوانی دارد. در مطالعات خارج از کشور نیز بین و همکاران (۲۰۰۸)، چو و همکاران (۲۰۰۶) و الرو (۲۰۱۰) به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. از نتایج پژوهش حاضر می‌توان دریافت که پارامترهای پیچانورد رودخانه کارون به شدت دچار تغییر شده‌اند. بخشی از این تغییرات به علت تجاوز انسان به حریم این رودخانه می‌باشد که با اهداف کشاورزی و مسکونی بیشتر صورت گرفته است. همچنین نتایج نشان داد که پارامتر درجه میان‌بری جهت بررسی تغییرات حالت‌های شکل پیچانورد پارامتر مناسبی جهت پژوهش می‌باشد.

منابع

۱. احمدیان یزدی م. ج. ۱۳۸۰. بررسی نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش پیچانورد تجن-هریرود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۷۸ ص.
۲. ارشد ص. مرید س. و میرابولقاسمی ه. ۱۳۸۶. بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجش از دور: مطالعه موردی از گتوند تا فارس‌سیاب (۱۳۶۹-۸۲). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۴(۶): ۱۷-۳۲.

22. Lagasse P. F. Spitz W. J. Zevenbergen L. W. and Zachmann D. W. 2004. Handbook for Predicting Stream Meander Migration. Report 533. Washington. DC. USA. 533 p.
23. Lofthouse C. and Robert A. 2008. Riffle-pool sequences and meander morphology. *Geomorphology*. 99(4):214-223.
24. Magdaleno F. and Fernandez-Yuste J. A. 2011. Meander dynamics in a changing river corridor. *Geomorphology*. 130(3):197-207.
25. Nicoll T. J. and Hickin E. J. 2010. Planform geometry and channel migration of confined meandering rivers on the Canadian prairies. *Geomorphology*. 116(1):37-47.
26. Ollero A. 2010. Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain. *Geomorphology*. 117(2):247-260.
27. Ollero A. and Pellicer F. 1991. Middle Ebro river channel and floodplain: geomorphology, recent changes, risks and management on a fluvial system of free meanders. In: Sala M. Rubio J. M. García and Ruiz J. M. (Eds.), *Soil Erosion Studies in Spain*. Geofoma. Logroño. Spain. pp. 203-210.
28. Perucca E. Camporeale C. and Ridolfi L. 2006. Influence of river meandering dynamics on riparian vegetation pattern formation. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*. 111:1-10 (G01001).
29. Timer G. 2003. Controls on channel sinuosity changes. A case study of the Tisza River, the great Hungarian plain. *Quaternary Science Reviews*. 22. P2206.
30. Uribe Larrea D. Perez-Gonzalez A. and Benito G. 2003. Channel changes in the Jarama and Tagus rivers (central Spain) over the past 500 years. *Quaternary Science Reviews*. 22(20):2209-2221.
31. Wentz E. A. Stefanov W. L. Gries C. and Hope D. 2006. Land use and land cover mapping from diverse data sources for an arid urban environments. *Computers, Environment and Urban Systems*. 30(3):320-346.
32. Yang X. Damen M. C. J. Van G. A. Van D. B. and Cheng G. 2002. *Geosciences and Remote Sensing Symposium*. 4(2):2240-2242.
- هیدرودینامیک رودخانه‌های تالار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییرات مشخصات هندسی آن‌ها. پژوهش‌های جغرافیایی. ۵۵(۳۸):۱۵-۳۳.
13. Bin Z. Nanshan A. Zhengweng H. Chengbo Y. and Facao Q. 2008. Meanders of the Jialing River in China: morphology and formation. *Chinese Science Bulletin*. 53(2):267-281.
14. Cabezas A. Comín F. A. Begueria S. and Trabucchi M. 2008. Hydrologic and land-use change influence landscape diversity in the Ebro River (NE Spain). *Hydrology and Earth System Sciences Discussion*. 5:2759-2789.
15. Camporeale C. and Ridolfi L. 2010. Interplay among river meandering, discharge stochasticity and riparian vegetation. *Journal of Hydrology*. 382(1-4):138-144.
16. Chu Z. X. Sun G. Zhai S. K. and Xu K. H. 2006. Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow river (Huanghe) sub aerial delta china: based on remote sensing images. *Marian Geology*. 227:13-30.
17. Crosato A. 2009. Physical explanations of variations in river meander migration rates from model comparison. *Earth Surface Processes and Landforms*. 34(15):2078-2086.
18. Dai S. B. Yang S. L. and Cai A. M. 2008. Impacts of Dams on the Sediment Flux of the Pearl River, Southern China. *Catena*. 76(1):36-43.
19. Giriraj A. Ullah M. I. Murthy M. R. and Beierkuhnlein C. 2008. Modelling Spatial and Temporal Forest Cover Change Patterns (1973-2020): A Case Study from South Western Ghats (India). *Sensors*. 8(10):6132-6153.
20. Heo J. Duc T. A. Cho H. S. and Choi S. U. 2009. Characterization and prediction of meandering channel migration in the GIS environment: a case study of the Sabine River in the USA. *Environmental Monitoring and Assessment*. 152(1-4):155-165.
21. Imran J. Parker G. and Pirmez C. 1999. A nonlinear model of flow in meandering submarine and sub aerial channels. *Journal of Fluid Mechanics*. 400(10):295-331.

