

بررسی روابط تجربی حاکم بر تغییرات مورفولوژیکی مائندرها و توسعه این روابط برای رودخانه های کارون و دز

فرشته پورآصف^۱، رضا عبدالشاه نژاد^۲

۱- سازمان آب و برق خوزستان، دفتر تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب، fporasaf2004@yahoo.com

۲- شرکت بهره برداری از شبکه های آبیاری کرخه و شاوور، r119a@yahoo.com

fporasaf2004@yahoo.com

خلاصه

در این تحقیق به منظور بررسی خصوصیات مورفولوژیکی رودخانه ها مهم ترین روابط تجربی حاکم بر رودخانه های مائندری که با بکارگیری خصوصیات هندسی و هیدرولیکی آنها حاصل شده و شرایط تعریف هر یک که از منابع مختلف موجود در این زمینه استخراج شده است، به صورت یکجا گردآوری و ارائه گردید. سپس با استفاده از نقشه های توپوگرافی، عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای و با بکارگیری روش رگرسیون غیرخطی مدل های تجربی مناسب و مشابه برای رودخانه های کارون و دز استخراج گردید.

واژه های کلیدی: مائندر (پیچانورد)، مدل تجربی، رودخانه، مورفولوژی.

مقدمه، تعاریف و اهداف

پلان رودخانه های آبرفتی در سه کلاس رودخانه های مستقیم (Straight)، شریانی (Braiding) و مائندری (Meandering) تقسیم بندی می شود. از دیدگاه پایداری، بسترهای آبرفتی در دو دسته پایدار و ناپایدار قرار می گیرند. رودخانه های آبرفتی در طول مسیر خود دارای پیچ و خم های فراوانی هستند که به آن مائندر (خم) گویند. این پیچ ها در اثر حرکت افقی رودخانه به وجود آمده و می توانند سبب تغییرات مکانی در مسیر رودخانه شوند. در رودخانه های پیچ و خم دار، بررسی رفتار و نوع تغییر شکل خم ها ما را برای دستیابی به تغییرات آتی شکل و حرکت جانبی رودخانه ها کمک می نماید. این مقاله بر آن است تا ضمن بررسی روابط تجربی موجود جهت تعیین تغییرات مورفولوژیکی رودخانه های مائندری، روابط منطقی و مستحکمی بین عوامل مختلف هیدرولیکی و هندسی رودخانه های کارون و دز در استان خوزستان استخراج نماید تا از این رهگذر بتوان تغییرات هندسی- هیدرولیکی رودخانه را با درجه بالایی از اطمینان پیش بینی نمود.

چگونگی خم دار شدن رودخانه ها

اغتشاشات موضعی که در نتیجه غیریکنواختی و غیرهمگنی مایع، جریان و شرایط مرزی به وجود می آید، سبب انحراف موضعی خطوط جریان و تشکیل جریان های غیرخطی (Nonlinear Flow) و یا جریان های ثانویه (Secondary Flow) و نهایتاً فرسایش موضعی جداره ها شده و موجبات شکل گیری خم ها را فراهم می آورد. در حقیقت پدیده پیچ و خم رودخانه سبب به حداقل رسیدن توان رودخانه ای (Stream Power) می شود. عده ای دیگر از محققان عامل شیب طولی رودخانه را دلیل خم دار شدن می دانند. [۱]

مشخصه های هندسی خم ها

از جمله ویژگی های مهم یک رودخانه پیچ و خم دار، اندازه و قابلیت جابجایی خم های آن است. شکل خم ها با یکی از حالت های منحنی دایره ای، پارابولیک و یا سینوسی تعریف می شود که حالت دایره ای بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. مطالعات نشان می دهد که با ترسیم دایره های مختلف منطبق بر مسیر آبراهه های پیچ و خم دار، این رودخانه ها می توانند دارای ضریب خمیدگی (Sinuosity) از ۱/۰ (برای آبراهه های مستقیم) تا ۵/۵ (برای قوس هایی که کاملاً در یکدیگر شکسته شده اند) باشند [۱]. روسگن [۲] شکل (۱) را برای نشان دادن مشخصات یک حلقه خم ارائه نمود.

^۱ رئیس گروه استانداردهای مهندسی آب، دفتر تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب، سازمان آب و برق خوزستان
^۲ رئیس اداره بهره برداری از شبکه های آبیاری کوت و حمودی (دشت آزادگان)

روابط هندسی - هیدرولیکی خم ها

یکی از جنبه‌های جالب در رودخانه‌های پیچ و خم دار، شبیه سازی ویژگی‌های هندسی هیدرولیکی آن می‌باشد. روابط تجربی که به این منظور توسعه داده شده‌اند، پارامترهای شعاع انحنا، زاویه مرکزی، ضریب خمیدگی، طول موج خم، عرض و غیره را به هم مرتبط می‌سازند. برپایس [۳] نشان داد که این شبیه سازی به اندازه واقعی خم حساس نیست. بدین معنی که روند تغییرات همه خم های رودخانه‌ای صرفنظر از اندازه آنها در پلان مشابه است. این واقعیت در توسعه روابط مربوط به رودخانه‌های خم دار با رفتار پیچیده کاربرد دارد.

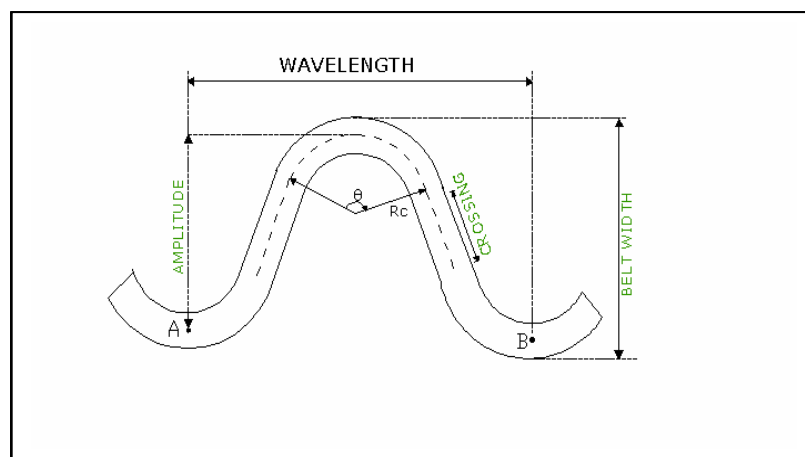
به منظور مشخص شدن ارتباط بین مشخصه‌های هیدرولیکی - هندسی خم ها روابط زیر ارائه شده است : [۴]

$$LW = c \cdot B^m \quad (1)$$

$$A = d \cdot B^n \quad (2)$$

$$LW = f \cdot Rc^t \quad (3)$$

که n, m, f, d, c و t ضرایب ثابت تجربی هستند و بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.



شکل (1) مشخصات هندسی یک حلقه خم رودخانه

Rc : Center-line Radius شعاع انحنا از خط مرکزی آبراهه

A : Amplitude دامنه نوسانات

LW : Meander Wave Length طول موج خم

MB : Widht of Meander Belt عرض کمره خم

θ : Central Angel زاویه مرکزی (یا زاویه بین دو شعاع متصل به نقاط عطف دو طرف یک قوس)

Q : Dominant Dischargh

B : عرض آبراهه

LV : طول دره

LR : طول خط القعر

s : سینوسیته

روابط دیگری نیز برای تعیین ارتباط پارامترهای هندسی رودخانه‌ها با مشخصه‌های جریان ارائه شده است که عبارتند از :

$$B = a \cdot Q^e \quad (4)$$

$$D = c \cdot Q^f \quad (5)$$

$$V = k \cdot Q^m \quad (6)$$

که c, a و k ضرایب ثابت تجربی ، B عرض آبراهه ، D عمق متوسط جریان ، V سرعت متوسط و Q شدت جریان می‌باشد. e, f و m نیز ضرایبی هستند که مجموع آنها برابر یک منظور می‌شود.

ارزیابی روابط حاکم بر مائندرها

مهم ترین روابط تجربی حاکم بر رودخانه های مائندری (که با بکارگیری خصوصیات هندسی و هیدرولیکی آنها حاصل شده) و شرایط تعریف هر یک که از منابع مختلف موجود در این زمینه استخراج شده است ، به صورت یکجا گردآوری و در جدول (۱) ارائه گردید.

مقایسه روابط مختلف خلاصه شده در جدول (۱) دشوار است . زیرا این روابط علاوه بر اینکه پارامترهای مختلفی را شامل می شوند ، در شرایط مختلف نیز استخراج شده اند. به هر حال بررسی روابط موجود از دو جنبه حائز اهمیت است. یکی اینکه ارتباط پارامترها به صورت $LW=CQ^n$ نمی تواند برای دامنه وسیعی از دبی ها معتبر باشد. زیرا طول موج خم نه تنها به دبی ، بلکه به پارامترهای مربوط به شکل مائندر (Meander Shape) همچون سینوسیته مرتبط است. به عنوان مثال ممکن است که دبی موثر (Dominant Discharge) در دو رودخانه مشابه باشد ، اما یکی از آنها دارای مائندرهایی با سینوسیته کمتر و دیگری دارای قوس های شکسته تر یا دارای سینوسیته بیشتری باشد. بدیهی است طول موج خم در حالتی که رودخانه دارای قوس های نوک تیزتر است ، بایستی کوتاهتر از زمانی باشد که مائندر دارای سینوسیته کمتری است.

از آنجاکه دبی و عرض جریان با هم در ارتباط هستند ، روابط بایستی به صورت LW/B و MB/B در نظر گرفته شوند.

از جمله ویژگیهای مهم یک مائندر شکل و اندازه آن است. "شکل مائندر" با استفاده از ضریب پیچشی (Tortuosity Ratio) یا LR/LV و یا با استفاده از نسبت هایی نظیر LW/MB که بیان کننده شکل یک مائندر است ، تعریف می شود. "اندازه مائندر" توسط پارامتر Rc/B یا MB/B تعریف می شود. روابط مختلفی برای تعیین "شکل مائندر" و "اندازه مائندر" توسط تحقیقات مختلف بدست آمده اند. هر یک از این روابط تحت شرایط خاصی استخراج گردیده اند.

از دیگر جنبه های مهم که از بررسی روابط ارائه شده در جدول (۱) حاصل می گردد ، این است که برای تعیین خصوصیات ژئومتری مائندر ، حداقل دو معادله مورد نیاز است. یک معادله برای تعریف شکل مائندر با استفاده از ترم LW/MB یا LR/LV و معادله دوم برای تعریف اندازه مائندر با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر MB/B یا Rc/B .

مشخصات عمومی منطقه مورد مطالعه

رودخانه کارون از ارتفاعات زاگرس سرچشمه می‌گیرد و در نزدیکی گتوند وارد دشت نسبتاً مسطح و کم شیب خوزستان می‌شود. این رودخانه پس از ورود به دشت خوزستان از حوالی شهرستان شوشتر به وسیله سازه باستانی "بند میزان" به دو شاخه گرگر و شطیط تقسیم می‌گردد و در یک بستر جلگه‌ای و هموار جریان می‌یابد. در محلی به نام بند قیر دو رود مذکور با رودخانه دز (با بستری جلگه‌ای) به هم ملحق شده و از آن پس به نام کارون بزرگ جریان یافته و با عبور از اهواز، کوت امیر و خرمشهر به اروند رود پیوسته و در نهایت به خلیج فارس می‌ریزد. شکل (۲) محدوده منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

بررسی تغییرات رودخانه‌های مورد مطالعه

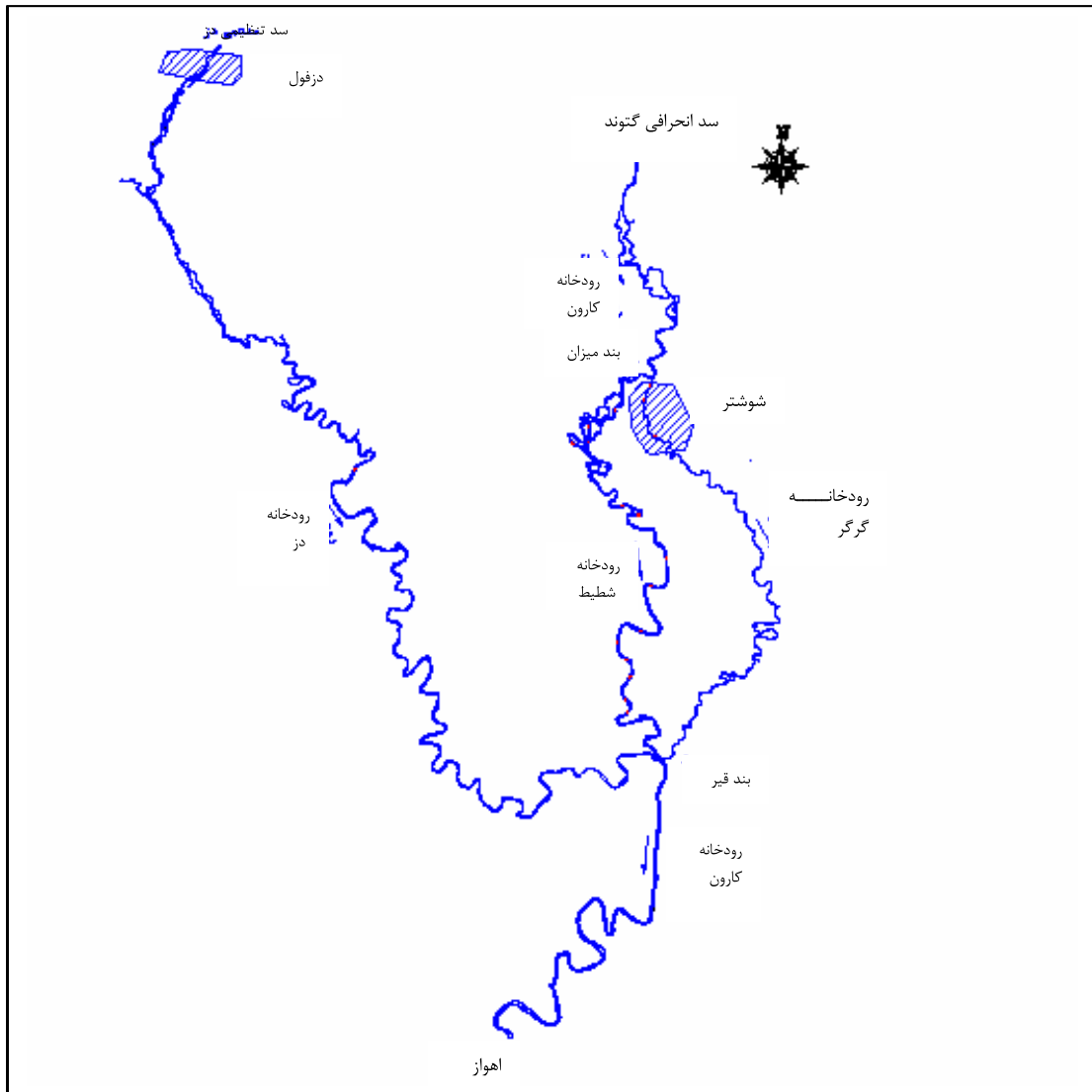
تغییرات بستر رودخانه ها به سه روش تجربی، تعیین سن و تاریخی مطالعه می‌گردد. در این تحقیق پلان رودخانه‌های کارون و دز و تغییر خصوصیات هندسی خم های رودخانه کارون از سد انحرافی گتوند تا کوت امیر و رودخانه دز از سد تنظیمی دز تا محل تلاقی آن با رود کارون مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ سال ۱۳۷۷ مدیریت نقشه‌برداری خوزستان، عکس‌های هوایی سال ۱۳۵۸ امور آب استان خوزستان و همچنین تصاویر ماهواره‌ای ۲۰۰۲ (سنجنده ETM ، لندست هفت) استفاده گردید. از نتایج مطالعات مشاور نیز [۵] و [۶] جهت تدقیق مطالعات انجام شده، بهره گرفته شد.

نتایج حاصل از استخراج مشخصات هندسی خم ها جهت آنالیز آماری

در این تحقیق خم های رودخانه‌های کارون و دز شناسایی و مشخصات هندسی آنها در بازه‌هایی که قبلاً شرح داده شد، استخراج گردید که شامل شعاع محوری خم (Rc)، زاویه انحراف خم (θ)، عرض آبراهه (B)، طول قوس (Lc)، ضریب خمیدگی (S)، طول موج خم (LW) و شعاع نسبی (Rc/B) می‌باشند. این کار با برآزش دوایری مماس بر پیچ‌های رودخانه که بیشترین و بهترین تطابق را با قوس مورد نظر داشته باشد (با سعی و خطا) و مشخص نمودن نقاط عطف محور رودخانه انجام شد. تعداد خم‌های استخراج شده در هر بازه به شرح جدول (۲) می‌باشد.

جدول ۱- روابط تجربی حاصل از تحقیقات انجام شده توسط محققین مختلف

ردیف	نام محقق و سال	رابطه با توجه به LW	رابطه با توجه به MB	رابطه با توجه به LR/LV یا LW/MB	رابطه با توجه به Rc و سایر پارامترها	محل استخراج داده ها	ملاحظات	
۱	فرگوسن (Ferguson, 1863) [۱]	LW=6B				رودخانه گنگ		
۲	جفرسون [Jefferson, 1902] [۱]		MB=17.6B			رودخانه های آمریکا و اروپا		
۳	اینگیس (Inglis , 1938) [۱]	LW=6.06B LW=29.6Q ^{1/2}	MB=17.4B MB=84.7Q ^{1/2}	LW/MB=0.35	Rc=20.64Q ^{1/2}	داده های جفرسون	رودخانه های با سیلابدشت	
		LW=11.45B LW=25.4Q ^{1/2}	MB=27.3B MB=56.4Q ^{1/2}	LW/MB=0.42	Rc=14.0Q ^{1/2}	داده های جفرسون رودخانه های کف سنگی (Incised rivers)		
	اینگیس (Inglis , 1939) [۱]		MB=14.0B			داده های بدست آمده از رودخانه های آمریکا	رودخانه های با سیلابدشت	
			MB=30.8B			داده های بدست آمده از رودخانه های آمریکا برای رودخانه های کف سنگی		
	اینگیس (Inglis , 1939) [۱]	LW=27.4Q ^{1/2}				رودخانه های اورپا ، هند	۱۶ رودخانه با سیلابدشت	
	اینگیس (Inglis , 1939) [۱]	LW=36.4Q ^{1/2}	MB=16.0Q ^{1/2}			داده های آزمایشگاهی	دبی در هر آزمایش ثابت	
۴	لئوپولد و همکاران (Leopold et al. , 1964) [۷]	LW=10.9B ^{1.01}	MB=2.7B ^{1.1}		LW=4.7Rc ^{0.98}	۵۰ رودخانه کوچک تا بزرگ		
۵	کارلستون (Carlston, 1965) [۸]	LW=8.2(Qb) ^{0.62}				۱۶ رودخانه در اورپا	دبی تراز لبریز (Bankful Discharge)	
		LW=7.5(Qb) ^{0.62}						
		LW=9to 10(Q) ^{0.62}					متوسط دبی سالیانه	Q
		LW=106.1(Qm) ^{0.46}					دبی متوسط ماهیانه	Qm
		LW=80.0(Qmax) ^{0.46}					۷۰ داده مشاهداتی	Qmax
		LW=8.2(Qb) ^{0.62}						
۶	ایکرز و چارلتون (Ackers and Charlton , 1970) [۸]	LW=38.0Q ^{0.467}	MB=18.50Q ^{0.505}	LW/MB=2.06Q ^{-0.038}		داده های آزمایشگاهی	0.238<Q<2.74 (ft ³ /s)	
		LW/B=4.47Q ^{0.148}	MB/B=2.17Q ^{0.186}			داده های آزمایشگاهی		
	شاوم (Schumm , 1963) [۹]			LR/LV=3.5(B/D) ^{-0.27}	B/D=255M ^{-1.08}	داده های صحرایی حاصل از ۴۷ کانال		
	شاوم (Schumm , 1967) [۹]	LW=1890Qm ^{0.34} /M ^{0.74}				داده های حاصل از ۳۶ رودخانه	Qm متوسط سالیانه دبی ، M درصد سیلت و رس	
۷	چیتال (Chitale , 1970) [۱۰]			LR/LV=1.145(MB/B) ^{0.134}		داده های صحرایی ۴۲ رودخانه		
۸	لانگبین و لئوپولد (Langbin & Leopold , 1966) [۱۱]				Rc=LW.s ^{1.5} /(13 (s-1) ^{0.5})		S سینوسیته	



شکل ۲- نمای کلی رودخانه های گرگر ، شطیپ ، دز و کارون در محدوده مورد مطالعه

جدول ۲- تعداد خم‌های موجود در هر بازه از رودخانه‌های مورد مطالعه

مجموع تعداد خم‌ها	دز	کارون بزرگ			نام رودخانه	
		از سد تنظیمی دز تا بند قیر	از بند قیر تا کوت امیر	شطیط	گرگر	از گتوند تا شوشتر
۲۰۳	۲۲	۷۸	۲۳	۷۰	۱۰	تعداد خم‌ها

آنالیز آماری پارامترهای مختلف مربوط به مشخصات قوس‌های رودخانه‌های کارون و دز در بازه‌های مختلف توسط SPSS انجام شد. نتایج بررسی‌های آماری و همچنین استفاده از نقشه‌ها، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد، مشخصات پلان رودخانه کارون بزرگ پس از بند قیر تا محدوده کوت امیر تغییر نموده و خم‌هایی با شعاع، زاویه و طول موج بسیار بیشتر را تشکیل می‌دهد که با توجه به پیشرفت مداوم حلقه‌های خم در سواحل، علت آنرا می‌توان به فرسایش پذیری بیشتر جدارها در این محدوده نسبت داد. خلاصه نتایج آنالیز داده‌ها جهت تعیین درصد فراوانی پارامترهای هندسی استخراج شده برای رودخانه‌های کارون و دز نیز در جدول (۳) ارائه گردیده است.

جدول ۳- خلاصه نتایج حاصل از آنالیز آماری پارامترهای هندسی قوس‌های رودخانه‌های کارون و دز

نام رودخانه	درصد فراوانی	شعاع (Rc)	زاویه (θ)، درجه	ضریب خمیدگی (s)	طول موج (Lw)، متر	شعاع نسبی (Rc/B)
کارون از گتوند تا کوت امیر	۵	۱۰۶	۵۰/۳	۱/۰۴	۴۰۱/۲۰	۱/۷۷
	۲۵	۳۵۰	۷۴	۱/۰۸	۹۸۹	۳/۵۸
	۵۰	۵۶۰	۱۰۲	۱/۱۵	۱۴۸۷	۷/۰۰
	۷۵	۹۷۰	۱۳۵	۱/۲۸	۲۵۳۷	۱۲/۴۲
	۹۵	۲۴۰۵	۱۸۴/۲۰	۱/۶۱	۶۱۹۵/۱۰	۲۳/۵۵
دز	۵	۲۲۹/۵۰	۵۷/۸۵	۱/۰۴	۸۷۵/۲۰	۱/۸۷
	۲۵	۴۳۷/۵۰	۸۸/۲۵	۱/۱۱	۱۴۲۳	۲/۹۸
	۵۰	۵۶۵	۱۲۵	۱/۲۳	۱۹۹۳/۵۰	۵/۰۰
	۷۵	۱۰۱۷/۵۰	۱۶۹/۵۰	۱/۴۸	۳۱۱۳/۷۵	۷/۰۹
	۹۵	۱۹۲۷/۵۰	۲۱۵/۴۵	۱/۹۸	۴۷۵۲/۶۰	۱۴/۷۳

همچنین بر اساس طبقه بندی کورنیس که برای تعیین میزان توسعه خم در رودخانه‌های آبرفتی با استفاده از زاویه مرکزی به کار می‌رود [۲]، درصد فراوانی زاویه مرکزی خم‌های رودخانه‌های مورد مطالعه در بازه‌های مختلف به شرح جدول (۴) می‌باشد.

نتایج حاصل از مطالعه ویژگی‌های ریخت شناسی رودخانه‌های کارون و دز

محاسبه مشخصات دو رودخانه دز و شطیط نشان می‌دهد که این دو رودخانه دارای گسترش جانبی و خمیدگی زیاد بخش‌های خم دار می‌باشند و تغییر شکل این رودخانه‌ها در قسمت‌های خم دار به صورت گسترش (Extention)، چرخش (Rotation) و میانبری (Cutoff) در آینده رخ خواهد داد. مشخصات خم‌ها در بازه بند قیر تا کوت امیر نشان می‌دهد که در این بازه، ضریب خمیدگی با افزایش نسبی روبرو بوده است. مشاهدات منطقه‌ای نشان دهنده فعال بودن این بازه و وجود تغییرات مداوم در آن می‌باشد. بررسی مقادیر شعاع نسبی (Rc/B) گویای کاهش این نسبت بوده که با وجود این کاهش، احتمال فرسایش بیش از پیش وجود خواهد داشت.

توسعه روابط تجربی جدید

بررسی همبستگی بین داده‌ها در تمام بازه‌ها رودخانه‌های کارون و دز نشان می‌دهد که بین طول موج و شعاع انحنا، طول موج و شعاع نسبی (Rc/B) و نیز طول موج و طول قوس همبستگی بالایی وجود دارد. همچنین بین ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، ضریب خمیدگی و ضریب شکل (Lc/Rc) همبستگی معنی‌داری دیده می‌شود.

با بررسی شکل کلی روابط که توسط محققین مختلف به صورت تجربی برای رودخانه‌های متفاوت حاصل شده است و با استفاده از داده‌های حاصله از رودخانه‌های کارون و دز در بازه‌های مختلف و استفاده از رگرسیون غیرخطی، بهترین روابط استخراج و در جدول (۵) و ارائه شد. ملاحظه می‌شود که بیشتر روابط با ضریب r^2 نسبتاً بالا، به صورت قابل پذیرش بوده و با مدل‌های مشابه قبلی سازگار می‌باشند. لازم به توضیح است که در قسمتی از رودخانه کارون که در حدفاصل بند قیر تا کوت امیر قرار دارد، به دلیل وجود تغییرات زیاد در مشخصات خم‌ها در مقایسه با سایر بازه‌های بالادست و وجود چم‌های (Cutoffs) فراوان، معادلات قابل پذیرشی استخراج نشد. از طرفی بین طول موج خم و عرض کانال و همچنین بین متوسط شعاع انحنا و عرض کانال روابط معنی داری به صورت $LW=a.B^c$ و $Rc=d.B^e$ وجود دارد که ضرایب a, b, c, d برای برخی از رودخانه‌ها استخراج شده است [۱۳]. با این حال بررسی داده‌های موجود همبستگی معنی‌داری را جهت استخراج رابطه تجربی مشابه جهت رودخانه‌های دز و کارون ارائه نمی‌نماید.

جدول ۴- میزان رشد خم‌های خم‌ها در بازه‌های مختلف بر اساس مقدار زاویه مرکزی خم

درصد فراوانی				زاویه مرکزی خم ، درجه	شکل رودخانه
دز	کارون از بند قیر تا کوت امیر	شطیط	گرگر		
۱/۲۸	۰	۰	۱/۴	۰-۴۱	شبه خم دار
۲۱/۷۹	۴۳/۷۵	۲۶/۱	۳۸/۶	۴۱-۸۵	خم دار توسعه نیافته
۵۱/۲۸	۳۱/۲۵	۵۲/۲	۵۱/۴	۸۵-۱۵۸	خم دار توسعه یافته
۲۵/۶۴	۲۵	۲۱/۷	۸/۶	۱۵۸-۲۹۶	خم دار بیش از حد توسعه یافته
۰	۰	۰	۰	> ۲۹۶	شاخ‌گاو (Ox-bow)

جدول ۵- روابط استخراج شده برای رودخانه‌های کارون و دز بر اساس فرم کلی استخراج شده از منابع و داده‌های محاسبه شده

نام بازه یا رودخانه	$R_c = A_1(Lw)^{A_2}(s)^{A_3}$ منبع: (Williams, 1986) [۱۱]	$Lw = A_1(R_c)^{A_2}$ منبع: (Doll et al., 2002) [۴]	$Lw = A_1(R_c/B)^{A_2}$ منبع: (Nalder, 1997) [۱۲]
کارون ازگتوند تا شوشتر	$R_c = 0.0378(Lw)^{1.43}(s)^{-8.679}$ $r^2 = 0.975$	$Lw = 132.43(R_c)^{0.380}$ $r^2 = 0.54$	$Lw = 445.55(Rc/B)^{0.905}$ $r^2 = 0.71$
گرگر	$R_c = 0.592(Lw)^{0.976}(s)^{-2.161}$ $r^2 = 0.90$	$Lw = 8.576(R_c)^{0.816}$ $r^2 = 0.87$	$Lw = 211.76(Rc/B)^{0.710}$ $r^2 = 0.83$
شطیط	$R_c = 0.842(Lw)^{0.915}(s)^{-1.359}$ $r^2 = 0.97$	$Lw = 8.587(R_c)^{0.849}$ $r^2 = 0.90$	$Lw = 808.01(Rc/B)^{0.804}$ $r^2 = 0.80$
کل کارون	$R_c = 0.295(Lw)^{1.069}(s)^{-1.751}$ $r^2 = 0.85$	$Lw = 7.284(R_c)^{0.852}$ $r^2 = 0.88$	
دز	$R_c = 0.255(Lw)^{1.081}(s)^{-1.749}$ $r^2 = 0.91$	$Lw = 17.182(R_c)^{0.740}$ $r^2 = 0.86$	$Lw = 736.7(Rc/B)^{0.655}$ $r^2 = 0.63$

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که در رودخانه‌های کارون و دز می‌توان بین طول موج و شعاع انحنا و یا نسبت انحنا روابط غیرخطی برقرار نمود. همچنین بین ضریب خمیدگی و طول قوس و نیز بین این ضریب و زاویه مرکزی انحنا، رابطه غیرخطی وجود دارد که با استخراج آنها می‌توان از آن برای رودخانه‌های مورد مطالعه استفاده کرد. مطالعات منطقه‌ای گویای این مطلب است که دو رودخانه دز و شطیپ دارای گسترش جانبی و خمیدگی زیاد در بخش‌های پیچ و خم دار خود می‌باشند.

در بازه بند قیر تا کوت امیر، ضریب خمیدگی با افزایش شعاع نسبی روبرو بوده است. این بازه و نیز رودخانه دز دارای بیشترین مقدار ضریب خمیدگی می‌باشند. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که بازه بند قیر تا کوت امیر دارای میانگین شعاع انحنا بیشتر از سایر بازه‌ها می‌باشد و این به دلیل وجود ناپایداری در بدنه خم‌ها و توسعه جانبی آن است. همچنین رودخانه شطیپ دارای بیشترین مقدار متوسط طول موج خم است.

مطالعه میزان رشد خم‌های در بازه‌های مختلف بر اساس مقدار زاویه مرکزی نیز طبق طبقه بندی کورنیس انجام شد. همچنین درصد فراوانی هر یک از پارامترهای استخراج شده در جدول (۴) ارائه شده است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از سازمان آب و برق خوزستان و دفتر تحقیقات و استانداردهای مهندسی آب به دلیل حمایت مالی در تهیه مقاله قدردانی می‌گردد.

مراجع

- 1- Varma, C.V.J., and Saxena, K.R. (1994) River behaviour management and training. Central Board of Irrigation and Power, Publ. No.204, Vol.II (1994), New Delhi.
- 2- Rosgen, D. (1996) Applied river morphology. published by Wildland hydrology Books, 157649 US HWY 160, Pagosa Spring, CO 81147.
- 3- Brice J.C. (1984) Planform properties of meandering rivers. In River Meandering, S.Y. Wang (ed.), New York, NY: ASCE, 1-15.
- 4- Doll, B. A., Grabow, G.L. and Wise, D.E. (2002) Stream restoration. A natural channel design handbook. N.C. Department of Environment and Natural Resources, EPA 319.
- ۵- شرکت مهندسی مشاور دزآب، ۱۳۷۹، طرح ساماندهی آبراهه کارون، مطالعات مرحله اول، گزارش ریخت شناسی.
- ۶- شرکت مهندسی مشاور دزآب، ۱۳۸۱ طرح تعیین حریم و بستر رودخانه‌های کارون، ا روند و بهمنشیر مطالعات مرحله اول.
- 7- Leopold, L.B., Wolman, M.G. and Miller, J.P. (1964) Fluvial processes in geomorphology. Freeman, San Francisco.
- 8- Matt Kondolf, G. and Piegay, H. (2003) Tools in Fluvial Geomorphology, Published by John Wiley & Sons, Chichester.
- 9- Biedenbarn, D.S., and Elliot, C.M. (1997) The WES stream investigation and streambank stabilization handbook. USAE, WES, Vicksburg Mississippi.
- 10- Chitale, S.V. (1970) river channel patterns. Journal of Hydraulic Division, ASCE, pp 201-221.
- 11- Williams, G.P. (1986) River meanders and channel size. Journal of Hydrology, 88, 147-164.
- 12- Nalder, G. (1997) Aspect of flow in meandering channels. IPENZ, 24(1), 41-48.
- 13- Clinton, D.R., Jennings, G.D., Harman, W.A. and Williams, J. (1999) North Carolina reference stream channel morphology relationships. Proc.AWRA Specialty Conf. Bozeman, Montana, ed.D.S. Olson and J.P.Potyondy, 393-400. Middleburg.