بررسي آزمايشگاهي الگوي سه بعدي جريان در قوس رودخانه[1]

علي سلاجقه[2] علي اكبر صالحي نيشابوري[3] حسن احمدي[4] محمد مهدوي[5] مسعود قدسيان[6]

چكيده

فرآيند حركت آب در رودخانه با توجه به ويژگي‌هاي رودخانه از نظر نوع بستر، ضريب زبري، شيب طولي و همچنين شرايط حاكم بر حوزه آبخيز آن كاملا متغيير و پيچيده است. اين تغييرات و پيچيدگي در قوس و يا مياندر رودخانه به حداكثر خود ميرسد. مطالعه اين فرآيند در طبيعت با توجه به وجود متغييرهاي فراوان و شرايط غير قابل كنترل امري بسيار دشوار است. لذا با در نظر گرفتن پارامترهاي اصلي و قابل اندازه‌گيري يک مدل فيزيكي در آزمايشگاه طراحي وساخته شد. اين مدل عبارت است از يك فلوم با درجه انحناي ۱۸۰° و جنس مواد كف و كناره‌ها از پلكسي گلاس با جريان يكنواخت معادل۵۰ ليتر بر ثانيه و عمق ۲۰ و عرض ۶۰ سانتيمتر. مولفه‌هاي سرعت آب در سه بعد x، y وz (w,v,u) در مقاطع مختلف با استفاده از دستگاه ميكرومولينه اندازه‌گيري شده است.

در مجموع ۱۹ سطح مقطع عرضي با فواصل ۱۰ درجه و در هر سطح مقطع عرضي در حداكثر ٤۹ نقطه و در هر نقطه مولفه‌هاي سرعت در سه بعد اندازه‌گيري شد. نتايج نشان مي‌دهد كه تغييرات عمقي سرعت طوري است كه حداكثر شيب عرضي سطح آب در زاويه ۱۸۰° درجه قوس و حداقل آن در زاويه۳۰ و۱۰۰ درجه قوس است بررسي پروفيل‌هاي عمقي سرعت در هر سه بعد نشان مي‌دهد كه حداكثر سرعت آب در عمق ۷/۷ سانتيمتري از كف و حداقل آن در عمق ۵/۷ سانتيمتري از سطح آب است.

واژه‌هاي كليدي: *رودخانه، پيچانرود، قوس، جريان، سرعت،سه بعدي، عمق، سطح مقطع.*

---

[1] -تاريخ دريافت: ۸۲/۴/۳۰، تاريخ پذيرش:۸۲/۱۰/۲۸

[2] -دانشجوي دكتري مهندسي آبخيزداري و عضو هيات علمي‌دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران **(E-mail:salajegh@ut.ac.ir)**

[3] - دانشيار دانشكده فني و مهندسي دانشگاه تربيت مدرس

[4] - استاد دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران

[5] - استاد دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران

[6] -دانشيار دانشكده فني و مهندسي دانشگاه تربيت مدرس

مقدمه

الگوي غالب براي شكل رودخانه آبرفتي در دشت‌هاي رسوبي ريزدانه پيچان رود[1] است. به علت اينكه شكل واقعي اين رودخانه‌ها غالبا در بسترهاي آبرفتي ناپايدار و در عين حال حاصلخيز ايجاد شده است، فرسايش كناره‌ها و بستر رودخانه منجر به تغيير شرايط حاكم بر جريان يعني تغيير ضريب زبري، سطح مقطع و در نتيجه سرعت جريان مي‌شود. علت اصلي آن توزيع نامتقارن سرعت در عرض و طول رودخانه است. علاوه بر آن هنگام وقوع سيلاب‌ها در اثر يك بارندگي شديد و يا شكست سد در بالادست، تراز سطح آب در قسمت قوس خارجي بالاتر قرار مي‌گيرد و اين امر غرقابي شدن سيلاب دشت‌ها كه نقاط تمركز جمعيت، صنعت و تجارت است را تشديد مي‌كند.

بررسي الگوي جريان در پيچان رودها با استفاده از مدل‌هاي فيزيكي و رياضي، با بررسي ويژگي‌هاي جريان در يك خم يا قوس[2] ساده از رودخانه آغاز مي‌گردد و به تحليل جريان در خم‌هاي نامنظم يا پيچان‌رودها، منجر مي‌شود. مهم‌ترين ويژگي‌هاي قابل بررسي پيچان رودها شامل: تشديد جريان‌هاي ثانويه[3]، خيزآب[4]، تغيير توزيع سرعت، فرسايش كناره‌هاي خارجي، رسوبگذاري در كناره‌هاي داخلي و افزايش افت اصطكاكي است.

جريان‌هاي ثانويه در خم رودخانه‌ها از اختلاف سرعت در سطح آب و كف بستر، نيروي گريز از مركز و اصطكاك ديواره‌ها و كناره‌ها توليد مي‌شود. يكي از علل ايجاد خيزآب نيز تفاوت انحناء سرعت جريان در سطح آب و كف بستر است. اصولا در قوس رودخانه به‌دليل تاثير نيروي گريز از مركز قسمت خارجي قوس سطح آب بالا آمده و در قسمت داخلي پايين مي‌افتد و لذا توزيع سرعت آن با جريان مستقيم تفاوت دارد. توزيع قايم سرعت در رودخانه‌هاي مستقيم با جريان دايم از قانون لگاريتمي‌به‌خوبي پيروي ميكند ولي در خم رودخانه‌ها توزيع قايم سرعت لگاريتمي‌نيست(۲). براي يافتن محل مناسب آبگيرها، اصلاح و ساماندهي رودخانه‌ها، انحراف جريان، كارهاي كشتيراني و جايابي احداث سازه‌هاي كنترل كننده مواد آلوده به رودخانه در خم رودخانه‌ها بايستي شرايط جريان را از جهات مختلف مورد بررسي قرار داد. اين مسايل به ضعف و قوت جريان‌هاي ثانويه، خيزاب، توزيع سرعت، توپوگرافي بستر و ويژگي‌هاي هندسي پيچان رود بستگي دارد.

شايد شكري[5] اولين فردي باشد كه در ۱۹۵۰ بررسي الگوي جريان در درقوس رودخانه را با استفاده از مدل فيزيكي انجام داد (۲). انيشتين[6] هم نقش جريان مارپيچي را در تعيين طول ميآندر بررسي نموده است(۳). جيمز تامسون (۱۸۶۷) جريان ثانوي را در تعدادي از رودخانه‌ها عامل اصلي الگوي پيچان رودي معرفي كرد وي نتايج كار خود را در داي نيچر وسين منتشر كرد (۲). شكري (۱۹۵۰) با استفاده از يك فلوم مستطيلي با زاويه مركزي°۴۵ تا °۱۸۰دايره افزايش عمق آب در كناره خارجي را مورد بررسي قرار داد. رزوسكي با استفاده از يك فلوم آزمايشگاهي °۱۸۰ كه ورودي و خروجي آن بازه‌هاي مستقيمي بودند, آزمايش‌هايي بر روي توزيع سرعت, عمق آب و توزيع تنش انجام داد. طول فلوم مورد استفاده ۶ متر و قسمت خروجي ۳ متر بود. شايد بتوان گفت كه كامل ترين تحقيق انجام شده روي الگوي جريان در قوس رودخانه‌ها توسط رزوسكي انجام شده است. وي نتايج كار خود را تحت عنوان *“ Flow of water in bends ofopen channels”* درسال ۱۹۵۷ در اوكراين منتشركرد (۴).

رزوسكي[7] (۱۹۵۷) ابتدا جريان در قوس رودخانه‌ها را به صورت رياضي بسط داده و توزيع سرعت‌هاي طولي و عرضي را مورد بررسي قرار داد و پس از آن با استفاده از مدل فيزيكي يك قوس°۱۸۰ نسبت شعاع به عرض ۱ را بررسي نموده است(۵). ايشان در مدل اثر پارامترهاي مختلف را تشريح نمود, وي اثر ديواره‌هاي كانال مستطيلي را روي جريان‌هاي عرضي ناديده گرفته است. نتايج

---

[1] -Meandering
[2] - Bend
[3] - Secondary Flow
[4] - Super Elevation
[5] -Shukry
[6] -Einstein
[7] -Rosovskii

آزمايش‌هاي رزوسكي در نزديكي ديواره غيرقابل اطمينان عنوان شده است، ولي ازتحليل‌هاي انجام شده روي جريان‌هاي عرضي نتيجه‌گيري نموده است كه در بخش مياني عرض كانال توزيع سرعت براي جريان‌هاي عرضي مستقل از عرض كانال است (۵). با توجه به بررسي‌هاي انجام شده در زمينه عنوان اين تحقيق گزارشي مشاهده نشده است.

براي درك هيدروليك جريان در خم رودخانه، مطالعه جريان‌هاي ثانويه، سرعت‌هاي طولي و عرضي، قدرت جريان‌هاي ثانويه، آشفتگي جريان و پيچيدگي آن توجه بسياري از محققين را به‌خود جلب نموده است. ذكر اين نكته ضروري است كه كاربرد روش‌هاي عددي براي تكميل اين تحقيقات بسيار مفيد بوده و با انجام واسنجي امكان استفاده از آنها در بعد وسيع‌تري مهيا مي‌گردد.

در اين تحقيق سعي شده است تا حدودي پا را از تحقيقات قبلي فراتر نهاده و الگوي جريان را در سه بعد u، v و w مورد بررسي و ارزيابي قرار دهد. اميد است كه گامي هرچند ناچيز باشد در زمينه انجام تحقيقات جامع و كاربردي‌تر در مهندسي رودخانه.

مواد و روش‌ها

۱- طراحي فلوم

غالب قوس رودخانه‌ها داراي زواياي بيش از ۹۰° و به شكل سينوسي هستند ولي به دليل محدوديت‌هاي آزمايشگاهي و امكانات اجرايي تصميم گرفته شد كه فلومي با زاويه ۱۸۰°، داراي شعاع انحناي ثابت و با سطح مقطع مستطيلي (٦۰×٦۰ سانتيمتر) طراحي گردد.

جهت تعيين ابعاد فلوم از مطالعات انجام شده روي قوس‌هاي رودخانه كارون در دو زمان متفاوت (سال ۱۳۳٤ و ۱۳۷۳) استفاده گرديد (۱)، به اين صورت كه با محاسبه نسبت شعاع انحنا به عرض براي قوس‌هاي مختلف كارون، متوسط شعاع انحنا به عرض قوس‌ها معادل ٤/۳۳ به‌دست آمد. بنابراين با استفاده از اين پارامتر و محدوديت فضاي آزمايشگاه شعاع انحنا متوسط فلوم۲/٦ متر و عرض و ارتفاع آن نيز ٦۰ سانتيمتر تعيين گرديدند. جهت رسيدن به جريان آرام يكنواخت در قسمت ابتداي فلوم مسير مستقيمي باهمان مصالح قوس درحدود ۷/٤۷ متر و در قسمت بعد از قوس نيز در حدود ٤/٤٥ متر طراحي و اجرا گرديد.

جريان ورودي از پمپ به يك مخزن بتون آرمه با ابعاد ۱/۲×۲/٥متر هدايت مي‌شود. جهت دست يافتن به جريان يكنواخت, كف آن درحدود ۸٥ سانتيمتر پايين‌تر از كف فلوم طراحي و با يك تبديل كاملا مناسب جريان يكنواخت وارد فلوم مي‌گرديد. جهت اندازه‌گيري دبي يك سرريز مثلثي لبه تيز طراحي و اجرا شد كه ارتفاع آب در بالاي آن با استفاده از يك پيزومتر اندازه‌گيري مي‌شد.

براي تنظيم عمق جريان موردنظر نيز اقدام به طراحي يك دريچه ريلي در انتهاي فلوم گرديد (شكل۱).

شكل۱- نمايي از فلوم و مخازن ورودي و خروجي

۲-نحوه انجام آزمايش‌ها

براي انجام آزمايش‌ها، تعداد ۱۹ سطح مقطع از زاويه صفر تا ۱۸۰° قوس با فواصل زاويه‌اي ۱۰° برداشت گرديد. در هر سطح مقطع عرضي نيز حداکثر در ٤۹ نقطه (بسته به شيب سطح آب و کاهش يا افزايش عمق) اندازه‌گيري سرعت جريان انجام شد به نحوي‌که ۷ پروفيل عمقي تعيين و در هر پروفيل عمقي نيز ۷ نقطه مشاهداتي مشخص گرديد.

باتوجه به تاثير کف و سطح و کناره‌ها روي سرعت جريان نقاط عمقي و عرضي در مجاورت آنها با فاصله کوتاه‌تر مورد سنجش قرارگرفتند. محل نقاط با استفاده از عمق ياب ديجيتال تعيين و به وسيله ميکرومولينه[۱] اقدام به اندازه‌گيري سرعت در نقاط موردنظر گرديد. جهت دقت و سرعت در اندازه‌گيري از نرم افزار A.E.I براي تبديل داده‌هاي آنالوگ به ديجيتال استفاده گرديد.

در اين تحقيق ميانگين سرعت در زمان‌هاي ۱۰ ثانيه، ۲۰ ثانيه و ۳۰ ثانيه (با گام ۱۰ ثانيه‌ايي) ثبت گرديد ولي تجارب بعدي در طول انجام آزمايش‌ها نشان داد که با توجه به تفاوت کم ميانگين سرعت گام‌هاي زماني، حتي فاصله زماني يک گام(۱۰ ثانيه) نيز بيان‌گر ميانگين سرعت در نقطه مورد نظر است.

نتايج

۱- عمق جريان

بررسي تغييرات طولي عمق (در طول کانال) در۷٦ نقطه در سطح آب نشان داد که اين داده‌ها داراي ميانگين ۱۹/۷٦ و ضريب تغييرات ٤/۷۵درصد مي‌باشندکه حاکي از تغييرات بسيار کم عمق آب در اين قوس است. حداکثر ارتفاع نقطه‌اي معادل ۲۲ سانتيمتر و در کد ۲٤ (يعني در سطح مقطع دوم و درست در ميانه عرضي کانال) و حداقل آن ۱۷/٤سانتيمتر و در کد ۱۸٤ (يعني سطح مقطع هجدهم و درست در ميانه عرضي کانال) واقع شده است. حداکثر اختلاف ارتفاع (قدر مطلق) بين قوس داخلي و قوس خارجي در سطح مقطع نوزدهم (۱۸۰°) و به مقدار ۱/۵سانتيمتر و حداقل آن در سطح مقطع‌هاي چهار (۳۰°) و يازدهم (۱۰۰°) به مقدار صفر مي‌باشد. همچنين حداکثر اختلاف عرضي سرعت آب (قدر مطلق) در لايه سطحي ($i_{۷}$) در سطح مقطع نوزدهم (۱۸۰°) به مقدار (۵/۱۳cm/s) و حداقل آن در سطح مقطع اول (۰°) و به مقدار (۱/۰cm/s) به‌دست آمده است. حداکثر اختلاف عرضي(قدر مطلق) ميانگين سرعت قوس داخلي و خارجي در سطح مقطع نوزدهم (۱۸۰°) يعني ۱۱/۱۳cm/s و حداقل آن در سطح مقطع نهم (۸۰°) به مقدار ۱٤cm/s/. مي‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- اختلاف عرضي عمق جريان وسرعت درسطح مقطع‌هاي مختلف

محل سطح مقطع در قوس (°)	۰	۱۰	۲۰	۳۰	٤۰	۵۰	٦۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱٤۰	۱۵۰	۱٦۰	۱۷۰
H۱-H۷ (cm)	-۰/۱	-۰/۸	۰/۳	۰	-۰/۳	-۰/۶	-۰/۷	-۱	-۰/۶	-۰/۳	۰	-۰/۱	-۰/۴	-۱	-۰/۹	-۰/۱	-۰/۸	-۰/۴
V۲/۳-V۵۴ (cm/s)	-۰/۲۵	۳/۸۷	۶/۶۸	۴/۰۱	۳/۰۴	-۵/۸	-۷/۶	-۴/۶	-۳/۴۷	-۶/۷۶	-۷/۸۷	-۴/۳۲	-۵/۰۴	-۲/۴۶	-۹/۵۹	-۴/۱۷	-۱۱/۲۹	-۶/۷۲
Ave. V۲/۳-V۵۴ (cm/s)	-۲/۳۶	-۲/۶۵	-۳/۹۳	-۱/۲	۰/۶۴	-۲/۴	-۱/۸	۱/۶۲	-۰/۴	-۰/۷۴	-۲/۳۹	-۳/۳۲	-۲/۴۶	-۵/۵۲	-۷/۰۳	-۹/۷۹	-۱۰/۲۰	-۸/۷

۲- پروفيل‌هاي عمقي و عرضي

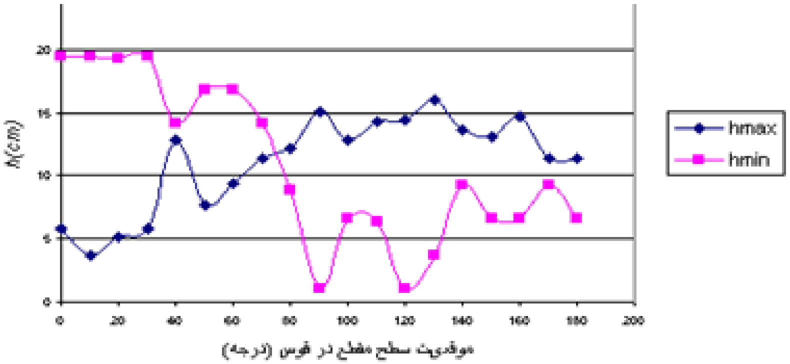
بررسي ۳۲۶ پروفيل عمقي و عرضي در ۱۹ سطح مقطع نشان مي‌دهد که حداکثر سرعت در سطح مقطع سوم و در عمق ۷سانتيمتري از کف و عرض ۱۰ سانتيمتري از قوس داخلي(۵/۵۲cm/s) و حداقل سرعت در سطح مقطع چهارم درعمق ۰/۵ سانتيمتري از کف و۳۰ سانتيمتري از قوس داخلي (۵/۲۳cm/s) رخ داده است. ميانگين عددي و وزني حداکثر سرعت (ميانگين عددي حداکثر سرعت cm/s

---

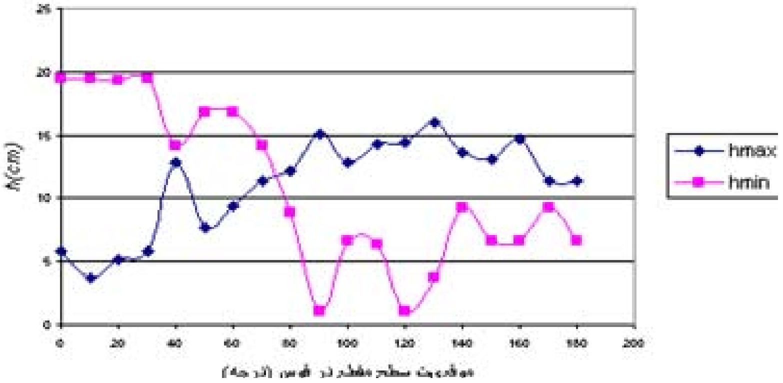
[۱] - Micropropler

۴۸/۲ و وزني ۸/۵۰cm/s) به ترتيب درعمق ۸/۳۱ و ۷/۷ سانتيمتري از كف و ميانگين عددي و وزني حداقل سرعت (ميانگين عددي حداقل سرعت cm/s ۲۹/۷ووزني ۲/۳۱cm/s) به ترتيب در عمق ۵/۴۲ و ۵/۷ سانتيمتري از سطح واقع شده‌اند و همچنين ميانگين عددي و وزني حداكثر سرعت (ميانگين وزني ۶۲/۵۰cm/s) به ترتيب درفاصله ۲۴/۸ و ۲۶/۱۱ سانتيمتري از قوس داخلي و ميانگين عددي و وزني حداقل سرعت (ميانگين وزني ۱۳/۳۲cm/s) به‌ترتيب در فاصله ۹/۲ و ۹/۹ سانتيمتري از قوس داخلي قرار گرفته‌اند.

ترسيم منحني‌هاي تغييرات طولي عمق و عرض سرعت‌هاي ميانگين حداكثر و حداقل نشان مي‌دهد كه از ابتدا به انتهاي كانال (از ۰° به ۱۸۰°) عمق و عرض سرعت‌هاي حداكثر روند صعودي و عمق و عرض سرعت‌هاي حداقل روند نزولي را دارا مي‌باشد به نحوي كه ترسيم اعماق سرعت‌هاي ميانگين حداكثر و حداقل در روي يک محور مختصات بيانگر اين هست كه آن دو يكديگر را در زاويه ۸۰° قوس قطع مي‌نمايند، در صورتي كه منحني عرض‌هاي سرعت‌هاي ميانگين حداكثر و حداقل يكديگر را در زاويه ۱۰۰° قطع مي‌نمايند (اشكال ۲و۳).

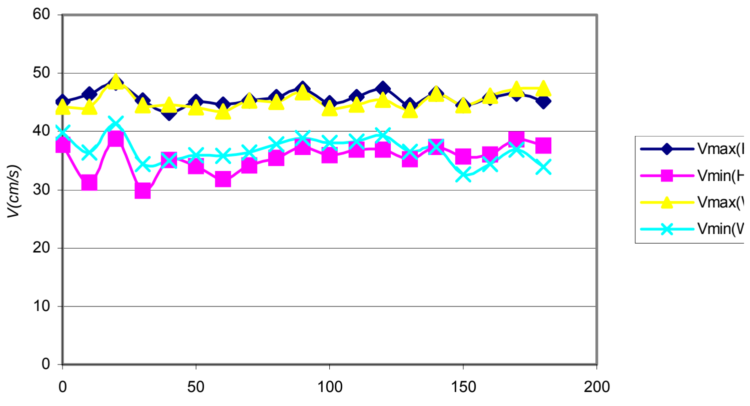


شكل ۲- نمودار تغييرات طولي عمق ميانگين سرعت حداكثرو حداقل در قوس (Q=۵۰lit/s)



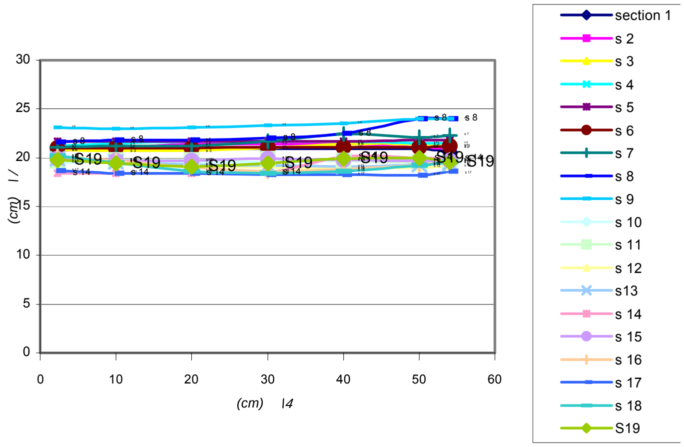
شكل ۳-نمودار تغييرات طولي عرض ميانگين سرعت حداكثرو حداقل در قوس (Q=۵۰lit/s)

نمودار تغييرات طولي ميانگين سرعت حداكثر و حداقل را در طول قوس در شكل (٤) نشان داده شده است. چنانچه مشاهده مي‌شود روند تغييرات بسيار كم و در امتداد خطوط افقي مي‌باشند.



شكل ۴- نمودار تغييرات طولي ميانگين سرعت‌هاي حداكثر و حداقل (Q=۵۰lit/s)

بررسي تغييرات عرضي عمق آب در ۱۹ سطح مقطع در يک نمودار نمايشگر يک روند قرينه در ميان عرض‌هاي مختلف است، به طوري كه تا زاويه ۹۰° تغييرات به صورت محدب (به‌جز سطح مقطع ۱) و از آن به بعد به صورت مقعر مي‌باشند. حداكثر تحدب در سطح مقطع ۲ و حداكثر تقعر در سطح مقطع ۱۸ مشاهده مي‌شود (شكل ۵).



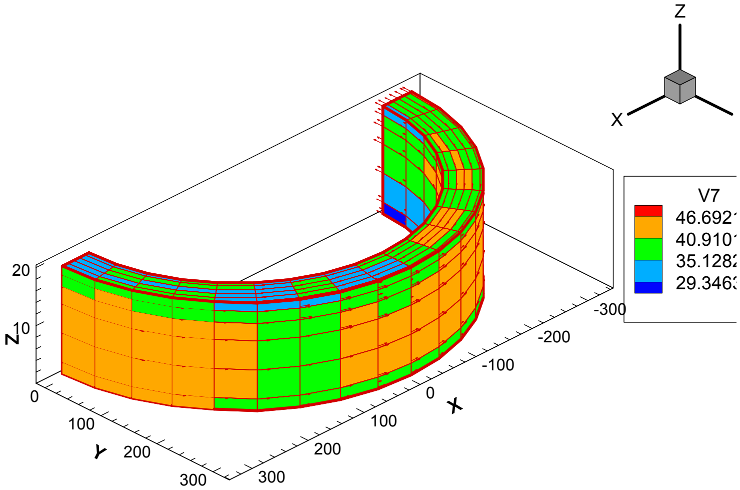
شكل ۵- نمودار تغييرات عرضي عمق آب در ۱۹سطح مقطع (Q=۳۰ lit/s)

۳-الگوي جريان (ميدان سرعت)

مولفه‌هاي سرعت در سه جهت u (مقدار سرعت در جهت X) v (مقدار سرعت در جهت Y) و w (مقدار سرعت در جهت Z) اندازه‌گيري و براي ترسيم بردارهاي سرعت و خطوط جريان در۷ صفحه افقي و به موازات هم (از كف به سطح) مورد استفاده قرار گرفتند (مولفه w در تمامي‌نقاط صفر مي‌باشد).

پس از ترسيم بردارها و خطوط جريان در نهايت اقدام به ترسيم ميدان سرعت با استفاده از رابطه $(V=(u^2+v^2+w^2)$ شد و بر اساس آن محدوده‌هاي حداكثر

و حداقل سرعت در قوس مشخص گرديد، شكل (۶) نيز نمايش دهنده ميدان‌هاي هم‌سرعت(الگوي‌جريان) مي‌باشد.



شكل ۶ - ميدان‌هاي **هم** سرعت(الگوي جريان)

با توجه به اين شكل در قوس خارجي محل وقوع سرعت‌هاي حداكثر (به‌جز زاوي ۵۰ تا ۷۰ درجه) و در قوس داخلي محل وقوع سرعت‌هاي حداقل مي‌باشد. همچنين از نظر عمقي نيز كف (به‌جز تا زاويه ٤٠درجه) و سطح آب حداقل سرعت را دارا مي‌باشند. البته در قوس داخل در محدوده ۷۰ تا ۱۲۰ درجه از عمق ۱۲/۵ سانتيمتري به بالا همانند قوس خارج مي‌باشد.

بحث و نتيجه گيري

۱- داده‌هاي عمق در٧٦ نقطه سطح آب داراي ميانگين ۱۹/۷٦و ضريب تغييرات ٤/٧٥درصد مي‌باشند كه حاكي از تغييرات بسيار كم عمق آب در اين قوس دارد.

۲- ميانگين عددي و وزني حداكثر سرعت به ترتيب درعمق ۸/۳۱ و ۷/۷ سانتيمتري از كف و ميانگين عددي و وزني حداقل سرعت به ترتيب در عمق ۵/۴۲ و ۵/۷ سانتيمتري از سطح واقع شده‌اند.

۳- ميانگين عددي و وزني حداكثر سرعت به ترتيب در فاصله عرضي ۲۴/۸ و ۲۶/۱۱ سانتيمتري از قوس داخلي و ميانگين عددي و وزني حداقل سرعت به ترتيب در فاصله عرضي ۹/۲ و ۹/۹ سانتيمتري از قوس داخلي قرار گرفته‌اند.

۴-تغييرات طولي عمق و عرض سرعت‌هاي ميانگين حداكثر و حداقل از ابتدا به انتهاي كانال (از °۰ به °۱۸۰) به ترتيب روند صعودي و نزولي را دارا مي‌باشد.

۵- منحني‌هاي اعماق سرعت‌هاي ميانگين حداكثر وحداقل در روي يک محور مختصات يكديگر رادر زاويه °۸۰ قوس قطع مي‌نمايند در صورتي كه منحني عرض‌هاي سرعت‌هاي ميانگين حداكثر و حداقل يكديگر را در زاويه °۱۰۰ قطع مي‌نمايند.

۶- روند تغييرات طولي ميانگين سرعت حداكثر و حداقل بسيار كم و در امتداد خطوط افقي مي‌باشند.

۷- بررسي تغييرات عرضي عمق آب در ۱۹ سطح مقطع در يک نمودار نمايشگر يک روند قرينه در ميان عرض‌هاي مختلف مي‌باشد، به‌طوري كه تا زاويه °۹۰ تغييرات به صورت محدب (به‌جز سطح مقطع ۱) و از آن به بعد به صورت مقعر مي‌باشند. حداكثر تحدب در سطح مقطع ۲ و حداكثر تقعر در سطح مقطع ۱۸ مشاهده مي‌شود.

۸- محدوده ۷۰° تا ۱۲۰° در قوس خارجي حداكثر سرعت (u) و قسمت ورودي و خروجي قوس حداقل سرعت را نشان مي‌دهند.

۹- در مولفه سرعت v نواحي حداكثر در ورودي و خروجي قوس يعني در زواياي صفر تا ۵۰ درجه ورودي و ۱۳۰ تا ۱۹۰ درجه خروجي واقع شده‌اند.

منابع

۱-سلاجقه، علي، ۱۳۷۸. مقايسه ضريب پيچشي رودخانه كارون با استفاده از عكس‌هاي هوايي سال‌هاي ۱۳۳٤ و ۱۳۷٤، دانشگاه تهران.

۲- محمودي، وانعليا، ۱۳۷۷. پايان نامه كارشناسي ارشد عمران, دانشگاه صنعتي شريف.

3-K. A. Bowker, 1999. Albert Einstein and Meandring Rivers.

4-Rosovskii,I. L., 1957. Flow of Water in Bends of Open Channels, Academy of Science of Ukranianian. SSR,Kiev.

5- Tamai N. ,Kouji S. & *et. al*,1989. Experimental Analysis on the Open Channel Flow in Rectangular Continous Bends Collected Paper,vol. 22, dep. of Civil Engineering، University of Tokyo.

An Experimental Investigation of Three Dimentional Flow Pattern in River Bend

A. Salajegheh [1] **A. A. Salehi Neishabouri** [2] **H. Ahmadi**[3]

M. Mahdavi[4] **M. Qudsian**[5]

Abstract

The process of flow in a river with regard to the river's characteristics such as the kind of bed, roughness coefficient, longitudinal slope as well as the governing conditions in the watershed (basin) is quite varied and complex. These variations along with complexities reach their highest values when flow occurs along a bend or river meander.

A study of this phenomenon as it occurs in nature is very complicated, requiring sophisticated equipment and instruments. In order to limit the variables and at the same time introduce a suitable pattern of a river bend (meander) that represents the effective principle dynamic parameters, a physical model, namely a flume of 180° curvature was constructed as a simulation. The bed and sides of the flume were constructed from plexiglass, allowing a uniform flow to occur at a rate of 50 liters per second, at a width and depth of 60 and 20 cm respectively. Three dimentional (x,y,z) velocity measurements were made at different sections using a micropropeller. In total, nineteen cross sections of 10° intervals wer taken for evaluation. A maximum of 49 points of three dimentional velocity measurements were made at each cross section.

Results indicate: a maximum of transverse gradient at water surface occurs at 90° curvature while a minimum occurring at 30 and 100 degrees of the bend. A study of in depth three dimentional velocity profiles indicates a maximum flow velocity at a depth of 7.7 cm from bed surface and a minimum at a depth of 5.7 cm below water surface.

Keywords: River, Meander Bend, Flow, Velocity, Three dimentional, Depth, Transverse section.

---

[1] -Ph. D. Student and Instructor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran(E-mail: Salajegh@ut.ac.ir)
[2] -Associate professor, University of Tarbiat Modarres
[3] -Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
[4] - Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
[5] -Associate Professor, University of Tarbiat Modarres