



مدیریت آب و آبیاری (نشریه علمی)

دوره ۱۱ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۱۷۲-۱۵۹

DOI: 10.22059/jwim.2021.316828.852

مقاله پژوهشی:

تأثیر دبی و رطوبت اولیه بر ضریب زبری مانینگ در فازهای پیشروی و ذخیره در آبیاری جویچه‌ای

- هادی رضایی راد^۱، حامد ابراهیمیان^{۲*}، عبدالمجید لیاقت^۳، فاطمه خلجی^۴، مهشید شهابی^۴ آرانی^۴
۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
 ۲. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
 ۳. استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
 ۴. دانش‌آموخته کارشناسی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۰

چکیده

ضریب زبری مانینگ پارامتری پیچیده و اثرگذار در آبیاری جویچه‌ای است و تعیین دقیق آن به دلیل تغییرات مکانی و زمانی ویژگی‌های خاک و پارامترهای هیدرولیکی جریان، پیچیده است. بنابراین این پژوهش با هدف تعیین ضریب زبری مانینگ در فازهای پیشروی و ذخیره و در رخدادهای اول تا سوم آبیاری انجام شد. در این پژوهش، زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای در فازهای پیشروی و ذخیره به ترتیب با استفاده از مدل SIPAR_ID و معادله مانینگ تعیین شد. بدین منظور، مقادیر ضریب زبری در دو تیمار دبی ورودی (به طور متوسط ۰/۲۷ و ۰/۵۳ لیتر بر ثانیه)، دو تیمار دور آبیاری (۵ و ۱۰ روز)، دو مزرعه با بافت خاک متفاوت (E و F) و در سه آبیاری اول تا سوم و در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضریب زبری مانینگ در فازهای پیشروی و ذخیره به ترتیب بین ۰/۱۷ تا ۰/۶۳۶ و ۰/۱۵ تا ۰/۳۱۷ متغیر بود و مقدار میانگین ضریب زبری در فاز پیشروی بیش‌تر از فاز ذخیره برآورد شد (به ترتیب ۰/۰۸۳ و ۰/۰۵۴). هم‌چنین ضریب زبری مانینگ با افزایش شماره رخداد آبیاری در هر دو فاز، کاهش یافت. در مزرعه F با توجه به بافت خاک سنگین‌تر، اختلاف ضریب زبری مانینگ در هر دو فاز در آبیاری اول و دوم نسبت به زمین E کم‌تر بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که ضریب زبری با دبی و رطوبت اولیه خاک رابطه‌ای معکوس و ضعیف داشت، اما دبی نسبت به رطوبت اولیه تأثیرگذارتر بود.

کلیدواژه‌ها: آبیاری سطحی، دور آبیاری، معادله مانینگ، SIPAR.

Effect of inflow rate and initial soil moisture on Manning roughness coefficient in advance and storage phases in furrow irrigation

Hadi Rezaei Rad¹, Hamed Ebrahimiyan^{2*}, Abdolmajid Liaghat³, Fatmeh Khalaji⁴, Mahshid Shabani⁴

1. Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. Bachelor Graduated, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
5. Bachelor Graduated, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: January, 13, 2021

Accepted: June, 10, 2021

Abstract

Manning roughness coefficient is a complex and effective parameter in furrow irrigation, and its exact determination is complicated due to spatial and temporal changes of soil characteristics and hydraulic parameters of the flow. Hence, this study was conducted to determine the Manning roughness coefficient in the advance and storage phases and in the first to third irrigation events. In this study, Manning roughness in furrow irrigation in the advance and storage phases was determined using the SIPAR_ID model and the Manning equation, respectively. For this purpose, the value of Manning roughness coefficient for two inflow treatments (an average of 0.27 and 0.53 L/S), two irrigation cycle treatments (5 and 10 days), and two different fields (E and F) was examined in the first to third irrigation events and in three replications. The results showed that the value of Manning roughness coefficient in the advance and storage phases of three irrigation events (first to third irrigation) was between 0.017 to 0.636 and 0.015 to 0.317, respectively. Also, it was found that the average roughness coefficient in the advance phase was more than the one in storage phase (0.083 and 0.054, respectively). In addition, the roughness coefficient in the two phases reduced by increasing irrigation events. In field F, due to the heavier soil texture, the difference in Manning roughness coefficient in both phases in the first and second irrigation was lower than the ones in field E. The results also indicated that the roughness coefficient had an inverse and poor relationship with the initial soil moisture and inflow. However, the inflow was more effective than the initial moisture.

Keywords: Irrigation interval, Manning equation, Surface irrigation, SIPAR.

مقدمه

کاربرد بهینه و توزیع مناسب آب در آبیاری جویچه‌ای به پارامترهایی نظیر جریان ورودی، بافت خاک، شیب جویچه، نفوذپذیری خاک، پوشش گیاهی، ضریب زبری و مدیریت آبیاری بستگی دارد (Amiri et al., 2016). ضریب زبری یا نیروی مقاوم در برابر حرکت جریان در واقع تنش برشی و نیروی مقاومت ناشی از عوامل جانبی مانند زبری سطح خاک و پوشش گیاهی می‌باشد که از کف جویچه در خلاف جهت حرکت، بر آب اعمال می‌شود و ایجاد عامل زبری می‌کند (Sepaskhah & Bonder, 2002). برای تفسیر زبری از ضرایبی که در معادلات مختلف مثل شزی، مانینگ و داری وجود دارد می‌توان استفاده نمود اما سهولت کاربرد و دقت قابل قبول در استفاده از معادله مانینگ، موجب انتخاب این معادله به عنوان معادله مرسوم برای برآورد سرعت جریان در مجاری روباز و آبیاری سطحی توسط مهندسين و پژوهشگران آبیاری شده است.

ضریب زبری مانینگ در طراحی و شبیه‌سازی آبیاری سطحی اهمیت بسیاری دارد (Harun-ur-Rashid, 1990). در صورتی که مقدار ضریب زبری مانینگ بیش از مقدار واقعی برآورد شود با توجه به این که زبری نیرویی مقاوم در مقابل جریان است، دبی کم‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌شود و می‌تواند در شبیه‌سازی و طراحی آبیاری سطحی خطاهای زیادی ایجاد نماید (Clemmens et al., 2001). تعیین دقیق ضریب زبری با توجه به تغییرات مکانی و زمانی خاک و پارامترهای هیدرولیکی جریان، دشوار است. همچنین با توجه به این که مقدار دبی در جویچه‌های آبیاری کم است، تغییرات در عمق و سرعت آب در جویچه‌ها زیاد بوده و تعیین ضریب زبری را دشوارتر می‌سازد (Li & Zhang, 2001; Sedaghatdoost & Ebrahimian, 2015). با این حال برخی محققین ضریب زبری در آبیاری جویچه‌ای را به‌طور

مستقیم توسط معادله مانینگ تعیین نموده‌اند (Kamali et al., 2018; Mailapalli et al., 2008). استفاده از این معادله با توجه به پارامترهای مختلف مورد استفاده و زمان بر بودن تعیین آن‌ها، غالباً به منظور بررسی دقت مدل‌ها و روش‌های مستقیم و غیر مستقیم تخمین زبری، کاربرد دارد. با توجه به آنچه بیان شد، محققین به منظور تخمین ضریب زبری به روش‌های جدیدی روی آوردند و از معادلات حاکم بر جریان در آبیاری سطحی و حل عددی و معکوس این معادلات استفاده کردند. مدل‌های مختلفی به منظور شبیه‌سازی جریان در آبیاری سطحی و تخمین ضرایب نفوذ و ضریب زبری مانینگ توسط پژوهشگران ارائه شده است. Rodríguez & Martos (2010) یک روش بهینه‌سازی چند هدفه را به منظور تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف و ضریب زبری مانینگ براساس یک مدل هیبرید از بیلان حجم، شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی، توسعه دادند و برای این منظور نرم‌افزار SIPAR_ID را ارائه نمودند. Nie et al. (2014) به ارزیابی دقت مدل SIPAR_ID در برآورد ضرایب نفوذ و ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای انتها بسته پرداختند و نشان دادند که این مدل با دقت بسیار خوبی ضرایب نفوذ و زبری را شبیه‌سازی کرد. Kamali et al. (2018) به ارزیابی مقدار ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای تحت کشت ذرت پرداختند و دقت روش بهینه‌سازی چند سطحی و SIPAR_ID را در تخمین ضریب زبری مانینگ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که بهینه‌سازی چند سطحی با خطای نسبی متوسط ۵ درصد، نسبت به روش دیگر، در تمام رخدادهای آبیاری کارایی بیشتری داشت. Zarakani et al. (2020) در پژوهشی تحت عنوان برآورد ضرایب نفوذ و ضریب زبری مانینگ در دو رژیم جریان پیوسته و کاهشی به این نتیجه دست یافتند که مدل SIPAR_ID نسبت به دو

تغییرات زمانی آن صورت پذیرفته است، اما مقدار زبری مانینگ در فاز پیشروی و ذخیره در طول رخدادهای مختلف آبیاری کم‌تر مورد توجه واقع شده است. لذا در این پژوهش ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای در فازهای پیشروی و ذخیره و در سه رخداد اول تا سوم مورد مطالعه قرار گرفت. هم‌چنین تأثیر دبی و رطوبت اولیه بر ضریب زبری مانینگ بررسی شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای

تیمارهای این مطالعه شامل دو تیمار دبی ورودی کم (به‌طور متوسط ۰/۲۷ لیتر بر ثانیه) و زیاد (به‌طور متوسط ۰/۵۳ لیتر بر ثانیه)، دو تیمار رطوبت خاک قبل از آبیاری (دور آبیاری ۵ و ۱۰ روزه)، سه رخداد آبیاری متوالی (آبیاری اول تا سوم)، فازهای پیشروی و ذخیره، دو محل متفاوت و در سه تکرار، بودند.

این پژوهش در مزرعه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج به مختصات ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه و ۳۰/۲ ثانیه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه و ۱۸/۵ ثانیه شمالی و با میانگین بارش سالانه ۲۵۱ میلی‌متر، انجام شد. در این مزرعه دو محل با بافت خاک متفاوت انتخاب شد. مزرعه F که سال‌ها مورد بهره‌برداری قرار گرفته بود، و مزرعه E که چندین سال تحت کشت نبوده است و آزمایش‌ها در هر دو محل انجام شد. ویژگی‌های خاک منطقه مورد مطالعه که شامل بافت خاک، شوری و اسیدیته بود، برای همه جویچه‌ها تعیین شد و میانگین آن در جدول (۱) ارائه شده است.

در ابتدای مزرعه، مخزنی به حجم ۲۰۰۰ لیتر به‌منظور کاهش نوسانات فشار آب قرار داده شد و آب توسط لوله‌های پلی‌اتیلن به ابتدای محل نمونه‌برداری انتقال یافت.

مدل INFILT و EVALUE دقت بیش‌تری در تخمین ضریب زبری و ضرایب نفوذ دارد. Rezaverdinejad *et al.* (2016) هم بیان کردند که مدل SIPAR-ID به‌دلیل ماهیت آن که از داده‌های فاز پیشروی استفاده می‌کند، در تخمین این فاز دقت بسیار خوبی دارد.

با توجه به اهمیت ضریب زبری مانینگ و تغییرات زمانی آن، پژوهش‌گران مختلفی تغییرات زبری مانینگ را در طول زمان موردبررسی قرار داده‌اند. سازمان حفاظت منابع طبیعی امریکا (NRCS) ضریب زبری مانینگ را برای جویچه‌های لخت در آبیاری اول بیش از آبیاری دوم در نظر گرفتند. Mailapalli *et al.* (2008) سه جویچه آبیاری ۴۰ متری را جهت بررسی تغییرات مکانی و زمانی ضریب زبری مانینگ مورد مقایسه قرار داد. نتایج نشان داد که ضریب زبری مانینگ در اثر گذر زمان کاهش یافت. نتایج هم‌چنین نشان داد که در دبی‌های ورودی پایین، با گذشت زمان ضریب زبری مانینگ به سرعت کاهش می‌یابد، درحالی‌که در دبی‌های بیش‌تر ضریب زبری با گذشت زمان با سرعت کم‌تری کاهش می‌یابد. Kassem & Ghonimy (2011) ضریب زبری مانینگ در آبیاری نواری تحت کشت گندم را در خاک لوم رسی فشرده و غیرفشرده و تحت جریان ورودی پیوسته و موجی موردبررسی قرار دادند و بیان کردند که مقادیر ضریب زبری در آبیاری دوم در جریان پیوسته ۴۴/۵۱ درصد و در جریان موجی ۴۹/۸۲ درصد نسبت به آبیاری اول کاهش یافت. Bahmani *et al.* (2020) در بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و فاصله جویچه‌ها بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در آبیاری جویچه‌ای بیان کردند که آبیاری اول و دوم ضریب زبری بیش‌تری نسبت به سایر آبیاری‌ها دارد.

همان‌طور که بیان شد، ضریب زبری مانینگ پارامتری مهم و تأثیرگذار در شبیه‌سازی آبیاری جویچه‌ای است. پژوهش‌های بسیاری در زمینه تخمین ضریب زبری مانینگ و

Table 1. Soil properties of the experimental fields

Field	Depth (m)	Soil texture	EC (dS/m)	pH	FC (g/g)	PWP (g/g)	Bulk density (g/cm ³)
F	0-0.2	Clay loam	1.58	7.23	0.182	0.087	1.50
	0.2-0.4	Clay loam	1.03	7.37	0.175	0.081	1.45
	0.4-0.6	Sandy loam	0.93	7.11	0.142	0.60	1.47
E	0-0.2	Silty clay loam	1.63	7.20	0.172	0.080	1.51
	0.2-0.4	Silty clay loam	1.23	7.25	0.155	0.069	1.48
	0.4-0.6	Sandy clay loam	0.90	7.23	0.150	0.066	1.49

EC: Electrical Conductivity, pH: potential of hydrogen, FC: Field Capacity, PWP: Permanent Wilting Point.

وسط و انتهای جویچه محاسبه شد سپس اقدامی مشابه برای مقطع سنج‌های پس از آبیاری صورت پذیرفت. از روابط زیر برای تعیین سطح مقطع (A_w) و محیط خیس شده (P_w) استفاده شد:

$$a_i = (Max(l_1, l_2, l_3 \dots l_n) - L) \quad (1)$$

که در آن، a_i : بخشی از طول میخ مقطع سنج که بالای سطح آب قرار دارد (سانتی‌متر)، L : عمق آب در جویچه (سانتی‌متر) و l_i : طول هر میخ مقطع سنج در جویچه (سانتی‌متر).

$$b_i = l_i - a_i \quad (2)$$

با استفاده از رابطه (۲) b_i برای تمام میخ‌های مقطع سنج قبل و بعد از آبیاری، محاسبه شد. سپس مساحت بین هر دو میخ با استفاده از رابطه دوزنقه محاسبه و A_i نام‌گذاری شد در نهایت سطح مقطع جریان با استفاده از رابطه (۳) تعیین شد.

$$A_w = \sum_{i=1}^n A_i \quad (3)$$

که در آن، A_w : سطح مقطع جریان (سانتی‌متر مربع) و A_i : مساحت بین هر دو میخ مقطع سنج (سانتی‌متر مربع) می‌باشد.

محیط خیس‌شده جریان هم با استفاده از محاسبه مجموع طول ساق بزرگ هر دوزنقه محاسبه شد (رابطه ۴).

$$P_w = \sum_{i=1}^n p_i \quad (4)$$

که در آن، P_w : محیط خیس‌شده جویچه (سانتی‌متر) و p_i : طول ساق بزرگ هر دوزنقه (سانتی‌متر) می‌باشد. در نهایت پس از تعیین سطح مقطع و محیط خیس‌شده جریان قبل و بعد از آبیاری، میانگین آن‌ها محاسبه شد.

در هر دو زمین، جویچه‌هایی به عرض ۷۵ سانتی‌متر و طول ۲۰ متر ایجاد شد. در این جویچه‌ها، برای اندازه‌گیری پیشروی و پسروی جریان، ۱۰ میخ به فاصله دو متر از یکدیگر در زمین نصب شد. به‌منظور اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی، WSC فلوم تیپ ۲ در ابتدا و انتهای هر جویچه نصب شد و عمق آب در این دو فلوم در یک ساعت اول (که تقریباً خاک به نفوذ پایه می‌رسد) هر ۵ دقیقه و پس از آن تا انتهای آبیاری هر ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. در طول جویچه‌ها چهار خط‌کش به فاصله چهار متر از هم به‌منظور اندازه‌گیری عمق آب در طول آبیاری، نصب و هم‌زمان با ارتفاع آب در فلوم‌ها، عمق آب خوانده شد. زمان آبیاری در تمام جویچه‌ها تقریباً ۱۸۰ دقیقه در نظر گرفته شد. شیب کف جویچه‌ها قبل از آبیاری اول توسط دوربین نقشه‌برداری اندازه‌گیری شد.

رطوبت خاک قبل از آبیاری با استفاده از روش وزنی تعیین شد. بدین منظور، در هر جویچه از لایه سطحی خاک (صفر تا ۱۰ سانتی‌متر) سه نمونه برداشت شد و پس از تعیین رطوبت، میانگین آن گزارش شد.

سطح مقطع جویچه (A_f) با استفاده از مقطع سنج (Walker, 1987) در سه نقطه ابتدایی (دو متر از ابتدای جویچه)، میانی (۱۰ متر از ابتدای جویچه) و انتهایی (۱۸ متر از ابتدای جویچه) قبل و بعد از هر آبیاری اندازه‌گیری شد. سطح مقطع (A_w) و محیط خیس‌شده (P_w) جریان در هر جویچه با استفاده از خط‌کش‌های تعیین عمق جریان و مقطع سنج در زمان‌های مختلف تعیین شد (شکل ۱). میانگین طول هر یک از میخ‌های مقطع سنج، قبل از آبیاری در ابتدا،

تأثیر دبی و رطوبت اولیه بر ضریب زبری مانینگ در فازهای پیشروی و ذخیره در آبیاری جویچه‌ای

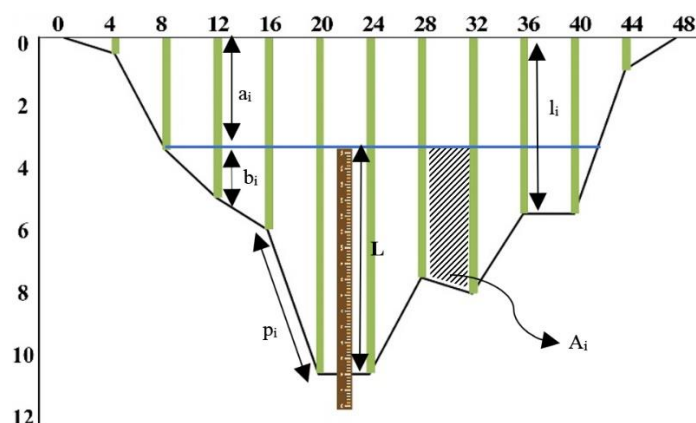


Figure 1. Schematic view of furrow profile

مدل SIPAR_ID

Rodríguez & Martos (2010) یک روش بهینه‌سازی معکوس چند هدفه را به منظور تخمین پارامترهای معادله نفوذ کوستیاکف و ضریب زبری مانینگ براساس یک مدل ترکیبی از بیلان حجم، شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی، تفاضلی، توسعه و برای این منظور نرم‌افزار SIPAR_ID را ارائه نمودند. این مدل براساس داده‌های پیشروی، ضرایب نفوذ و زبری مانینگ را به نحوی پیدا می‌کند که مجموع مربعات اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده پیشروی جریان، حداقل شود. این مدل علاوه بر داده‌های جریان ورودی و پیشروی، نیازمند هندسه مقطع و داده‌های عمق جریان در یک ایستگاه معین می‌باشد. توابع هدف در نظر گرفته شده در این مدل، عبارتند از:

$$OF_1 = \text{Min. SSE}_{\text{Advance Distance}} = \sum_{i=1}^{N_s} (X_i - \bar{X}_i)^2 \quad (5)$$

$$OF_2 = \text{Min. SSE}_{\text{Flow Depth}} = \sum_{t=1}^{N_t} (Y_t - \bar{Y}_t)^2 \quad (6)$$

که در این روابط، SSE مجموع مربعات خطا، X_i و \bar{X}_i پیشروی اندازه‌گیری و برآورد شده مدل، Y_t و \bar{Y}_t عمق جریان اندازه‌گیری و برآورد شده مدل در یک ایستگاه مشخص در زمان‌های مختلف، N_s تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری

تعیین ضریب زبری مانینگ

ضریب زبری مانینگ در این تحقیق در فازهای پیشروی و ذخیره (n_a) تعیین شد که در ادامه روش تعیین ضریب زبری در هر کدام از این فازها توضیح داده شد.

فاز پیشروی

در معادله مانینگ، به فرض یکنواخت بودن جریان می‌توان به جای شیب سطح آب (S_f) از شیب کف کانال (S_0) استفاده نمود. در جویچه‌های آبیاری با توجه به وجود نفوذ آب در خاک عملاً جریان غیر یکنواخت است اما در صورتی که سرعت نفوذ آب در خاک ثابت شده باشد، می‌توان فرض کرد که جریان یکنواخت در جویچه برقرار است. در فاز پیشروی فرض جریان یکنواخت می‌تواند منجر به بروز خطاهای زیادی شود. همچنین اندازه‌گیری عمق جریان در فاز پیشروی عملاً میسر نبود. لذا در این فاز برای تعیین ضریب زبری مانینگ از فرمول مانینگ استفاده نشد. مدل SIPAR_ID با توجه به این‌که برای تخمین ضریب زبری مانینگ از داده‌های فاز پیشروی، دبی ورودی و عمق جریان در یک نقطه و زمان‌های مشخص استفاده می‌کند (Rodríguez & Martos, 2010)، به منظور تخمین ضریب زبری مانینگ در فاز پیشروی مورد استفاده قرار گرفت.

آن در کل فاز ذخیره تعیین شد. به طریق مشابه، ضریب زبری مانینگ در انتهای جویچه با استفاده از دبی خروجی تخمین زده شد و میانگین آن‌ها به عنوان ضریب زبری این فاز گزارش شد.

نتایج و بحث

شکل (۲) روند تغییرات ضریب زبری مانینگ را در جویچه‌های مورد بررسی در مزرعه E به عنوان نمونه نشان می‌دهد. در این شکل میانگین تکرارهای مختلف ارائه شده است. روند کلی تغییرات نشان داد که با افزایش شماره رخداد آبیاری، ضریب زبری مانینگ کاهش یافت. Bahmani et al. (2020) و Zarakani et al. (2020) هم به نتایج مشابهی دست یافتند. این کاهش زبری در اثر افزایش شماره رخداد آبیاری، در هر دو فاز پیشروی و ذخیره مشاهده شد. در توجیه این فرایند می‌توان به خیس شدن جویچه در اثر آبیاری، اشاره کرد. چرخه خیس شدن و خشک شدن خاک در فاصله دو آبیاری متوالی، سبب حل شدن کلوخه‌ها می‌شود (شکل ۳) از طرف دیگر خاک فرسایش یافته و همراه آب در درز و شکاف‌های موجود در سطح خاک قرار می‌گیرد و لایه سطحی خاک پس از هر آبیاری متراکم‌تر و نرم‌تر می‌شود که در نهایت منجر به کاهش ضریب زبری می‌شود. Grassi (1972)، Harun-ur-Rashid (1990) و Kassem & Ghonimy (2011) و Amiri et al. (2016) دلایل مشابهی را برای کاهش ضریب زبری طی رخدادهای مختلف آبیاری ذکر نمودند.

ضریب زبری مانینگ در فاز پیشروی نسبت به فاز ذخیره مقدار بزرگ‌تری داشت (شکل ۴). که می‌تواند به علت اندازه و تعداد کلوخه‌های بیشتر، رطوبت کم‌تر و نفوذ بالاتر در فاز پیشروی نسبت به فاز ذخیره باشد.

پیشروی جریان و N_f تعداد اندازه‌گیری‌های عمق جریان در زمان‌های مختلف در ایستگاه مشخص می‌باشند. تابع هدف نهایی در مدل به صورت رابطه (۷) می‌باشد:

$$OF_{Aggre.} = w(OF_1) + (1 - w)(OF_2) \quad (7)$$

که در آن w پارامتر وزن می‌باشد. مدل SIPAR_ID علاوه بر داده‌های جریان ورودی و پیشروی، نیازمند هندسه مقطع و داده‌های عمق جریان در یک ایستگاه مشخص می‌باشد. متغیرهای تصمیم مدل بهینه‌سازی شامل ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف و ضریب زبری مانینگ بوده و دامنه‌ای برای متغیرها و قیود مدل بهینه‌سازی، تعریف می‌شوند.

فاز ذخیره

فاز ذخیره پس از رسیدن آب به انتهای جویچه شروع شده و تا زمان قطع جریان ادامه دارد. مشاهده‌ها نشان دادند که تقریباً پس از گذشت یک ساعت از شروع آبیاری، سرعت نفوذ آب در خاک ثابت شده و مقدار دبی خروجی از جویچه‌ها (به شرط ثابت بودن دبی ورودی) بدون تغییر باقی می‌ماند. پس از این لحظه فرض شد که شرط جریان یکنواخت در جویچه برقرار است و ضریب زبری مانینگ توسط معادله مانینگ (رابطه ۸) محاسبه شده و به عنوان نماینده فاز ذخیره در نظر گرفته شد.

$$Q = \frac{A}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S_0^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

که در آن، Q : دبی (مترمکعب بر ثانیه)، A : سطح مقطع جریان (مترمربع)، n : ضریب زبری مانینگ (ثانیه بر متر)^{۱/۳}، R : شعاع هیدرولیکی (متر) و S_0 : شیب کف جویچه می‌باشد. به منظور افزایش دقت در تخمین ضریب زبری مانینگ در این فاز، ضریب زبری در ابتدا و انتهای جویچه به صورت مجزا محاسبه شد. بدین منظور، با استفاده از مقطع سنج ابتدای جویچه و با استفاده از رابطه (۱ تا ۳) و دبی ورودی، ضریب زبری در بازه‌های زمانی ده دقیقه‌ای تعیین و میانگین

تأثیر دبی و رطوبت اولیه بر ضریب زبری مانینگ در فازهای پیشروی و ذخیره در آبیاری جویچه‌ای

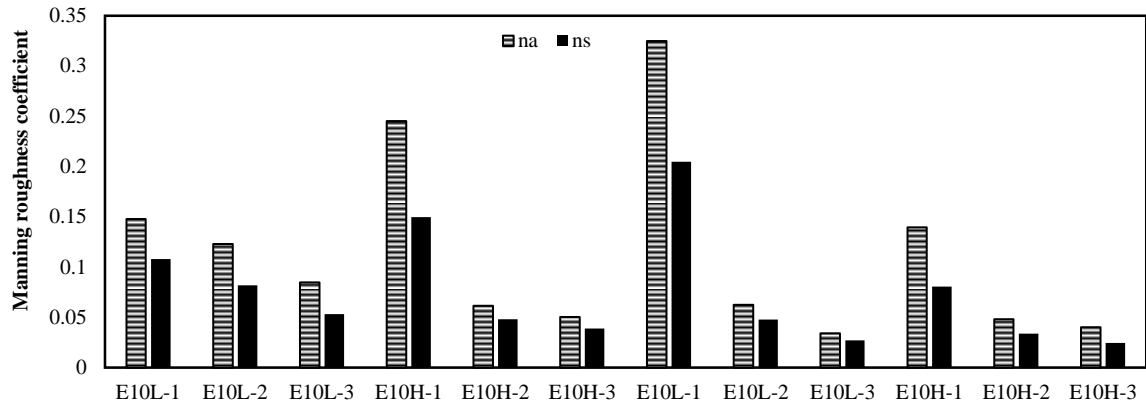


Figure 2. The trend of Manning roughness coefficient changes in field E for advance and recession phases in three irrigation events. (The average of repetitions is reported) (E10L-1: field E, ten-day irrigation interval, low inflow rate and first irrigation event).



Figure 3. An image of one of the experimental furrows before and after irrigation

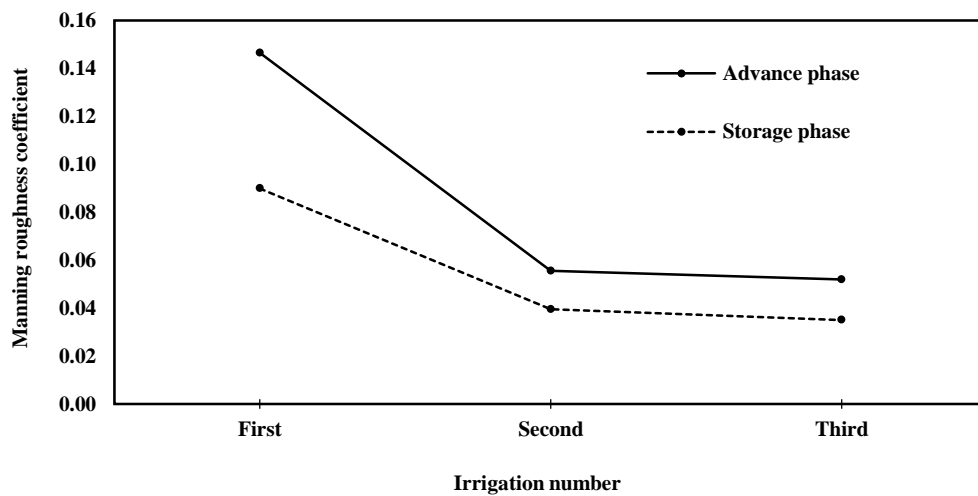


Figure 4. Changes in the average of Manning roughness coefficient in first to third irrigation for advance and storage phases

بیش تر سبب شد تا تغییرات ضریب زبری مانینگ قبل و بعد از هر سیکل آبیاری بیش تر شود. به عبارت دیگر، فرایند خشک و خیس شدن جویچه‌ها در اثر آبیاری، کلوخه‌ها را در خود حل کرده و سبب کاهش چشم‌گیر ضریب زبری در آبیاری اول تا دوم شد. نتایج هم‌چنین نشان داد که در فاز پیشروی، اختلاف بین آبیاری اول و دوم و سوم در هر دو مزرعه به ترتیب ۵۷/۰۳ و ۳۴/۱۲ درصد و در فاز ذخیره ۵۱/۰۸ و ۳۳/۷۹ درصد بود. Zarakani et al. (2020) بیان کردند که در آبیاری دوم و سوم در آبیاری جویچه‌ای، ضریب زبری به ترتیب حدود ۳۰ و ۳۳ درصد کاهش می‌یابد. در جریان پیوسته را ۴۴/۵۱ درصد اعلام کردند. Kassem & Ghonimy (2011) اختلاف آبیاری اول و دوم در Bonder & (2002) هم نشان دادند که ضریب زبری در آبیاری دوم و سوم حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد نسبت به آبیاری اول کاهش می‌یابد که با نتایج این پژوهش به‌طور نسبی مشابه است.

در واقع با گذشت زمان و رسیدن سرعت نفوذ آب در خاک به نفوذ پایه، سرعت نفوذ آب در خاک کم شد و سرعت حرکت آب در جویچه افزایش یافت. هم‌چنین رطوبت بالای خاک سطحی و کاهش کلوخه‌ها نسبت به فاز پیشروی سبب کاهش ضریب زبری در فاز ذخیره شد. جدول (۲) میانگین ضریب زبری در مزرعه E و F را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که ضریب زبری مانینگ در فاز پیشروی و ذخیره در مزرعه E به ترتیب، حداقل ۰/۰۱۷، ۰/۰۱۶ و حداکثر ۰/۳۱۷، ۰/۶۳۶ و به‌طور میانگین ۰/۱۱، ۰/۰۷۳ بود و در مزرعه F حداقل ۰/۰۲۶، ۰/۰۱۵ و حداکثر ۰/۱۸، ۰/۰۹ و به‌طور میانگین ۰/۰۶۴، ۰/۰۴۱ تعیین شد. هم‌چنین میانگین ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای در هر دو مزرعه، در آبیاری اول تا سوم به ترتیب در فاز پیشروی ۰/۱۴۶، ۰/۰۵۶، ۰/۰۵۲ و در فاز ذخیره ۰/۰۹، ۰/۰۴، ۰/۰۳۵ برآورد شد (شکل ۴) که نشان از همبستگی به‌طور نسبی بالای ضریب زبری مانینگ در این دو فاز داشت (شکل ۵).

Table 2. Maximum, minimum and average values of manning roughness coefficient in advance and storage phases

Field		n _a	n _s
E	Max	0.636	0.317
	Min	0.017	0.016
	Average	0.110	0.073
	Avg. in first event	0.212	0.140
	Avg. in second event	0.074	0.056
	Avg. in third event	0.052	0.035
F	Max	0.180	0.090
	Min	0.026	0.015
	Average	0.064	0.041
	Avg. in first event	0.101	0.056
	Avg. in second event	0.044	0.032
	Avg. in third event	0.052	0.036

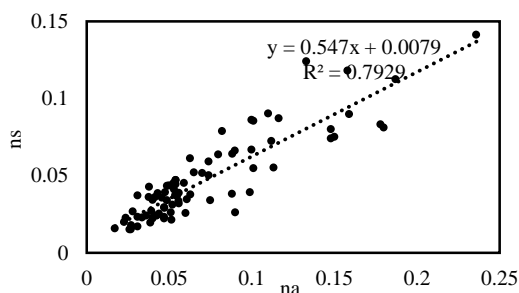


Figure 5. Relationship between Manning roughness coefficient in advance and storage phases in all experimental furrows for first to third irrigation

جدول (۳) میانگین درصد اختلاف بین ضریب زبری مانینگ در آبیاری‌های اول و دوم و آبیاری‌های دوم و سوم را در فاز پیشروی و ذخیره در هر دو مزرعه نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در مزرعه E درصد کاهش ضریب زبری بین آبیاری اول و دوم و آبیاری دوم و سوم در فاز پیشروی به ترتیب ۶۲/۸۴ و ۳۰/۰۴ درصد و در فاز ذخیره، ۵۹/۳۳ و ۳۳/۰۳ درصد بود. در مزرعه F اختلاف ضریب زبری مانینگ در هر دو فاز در آبیاری اول و دوم نسبت به زمین E کم‌تر بود که می‌تواند به‌علت تأثیر بافت خاک در ضریب زبری مانینگ باشد. Chow (1959) نوع بافت خاک در مقدار ضریب زبری مانینگ را دارای اهمیت معرفی کردند و بیان کردند که خاک‌های شنی نسبت به خاک رسی ضریب زبری بیش‌تری دارند. هم‌چنین بررسی کلوخه‌های موجود در دو مزرعه نشان داد که مزرعه E کلوخه بیش‌تری داشت. کلوخه

Table 3. The average of percentage difference between Manning roughness coefficient for first to third irrigations in advance and storage phases

The average of percentage difference	Field	Advance phase	Storage phase
Between first and second irrigation events	E	62.84	59.33
	F	51.23	42.83
Between second and third irrigation events	E	30.04	33.03
	F	38.19	34.55
Overall average of first and second irrigations events		57.03	51.08
Overall average of second and third irrigation events		34.12	33.79

زیادی دبی ورودی و کلوخه‌ها در ضریب زبری مانینگ است. این در حالی است که در بسیاری از پژوهش‌های (Harun-ur-Rashid, 1990; Nie *et al.*, 2018; Nie *et al.*, 2014)، کلوخه‌ها به صورتی دستی یا توسط دیسک، حذف می‌شوند و اثرات آن‌ها مورد بررسی قرار نمی‌گیرد.

تأثیر دبی بر ضریب زبری مانینگ

به منظور بررسی ارتباط بین دبی و ضریب زبری مانینگ، از آزمون آماری پیرسون استفاده شد. نتایج نشان داد که ارتباط بین ضریب زبری فاز پیشروی (n_a) و ذخیره (n_s) و دبی ورودی و خروجی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. هم‌چنین مقدار ضریب همبستگی پیرسون بیانگر رابطه معکوس و متوسط بین دبی ورودی و خروجی و ضریب زبری مانینگ در این دو فاز آبیاری بود. رابطه بین تغییرات دبی جریان ورودی و خروجی با ضریب زبری مانینگ در آبیاری‌های اول تا سوم و در فازهای پیشروی و ذخیره در شکل‌های (۶) تا (۸) نشان داده شده است. به منظور تعیین رابطه و همبستگی بین مقادیر زبری و دبی، برازش مناسب با استفاده از معادله نمایی، داده شد. اگرچه در برخی نمودارها می‌توان رابطه‌ای مناسب‌تر و با ضریب تعیین بالاتر بین مقادیر ضریب زبری و دبی یافت، اما زبری باید در سرعت صفر دارای مقداری مشخص باشد و به صورت مجانبی با افزایش سرعت به یک مقدار پایه نزدیک شود. لذا یک رابطه نمایی می‌تواند برای چنین شرایطی مورد استفاده قرار گرفته و نتایج واقعی‌تری ارائه

سرویس حفاظت خاک امریکا (SCS) ضریب زبری مانینگ در جویچه‌های بدون پوشش گیاهی را در آبیاری اول ۰/۰۴ و در آبیاری دوم ۰/۰۲ توصیه کرده‌اند (USDA, 1974). Chow (1959) ضریب زبری مانینگ در جویچه‌های لخت را عددی بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۴ معرفی کرده‌اند. Sepaskhah & Bonder (2002) ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای را در آبیاری اول بین ۰/۰۷ تا ۰/۱۲۱ تعیین کردند. Kamali *et al.* (2018) ضریب زبری مانینگ در جویچه‌های آبیاری را در دبی‌های کم تا زیاد بین ۰/۰۴۳ تا ۰/۰۵۶ متغیر دانسته‌اند. Zarakani *et al.* (2020) در برآورد ضریب زبری مانینگ در دو رژیم جریان پیوسته و کاهشی بیان کردند که ضریب زبری محاسبه‌شده توسط مدل SIPAR_ID، بین ۰/۰۳۸ تا ۰/۰۸۹ متغیر است. به جز مقادیری که توسط SCS و Chow (1959) ارائه شده است، سایر مقادیر با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. تنها نکته قابل‌تأمل، برخی مقادیر بالای ضریب زبری در آبیاری اول است. به طور مثال، ضریب زبری در آبیاری اول جویچه دوم مزرعه E، ۰/۶۳۶ در فاز پیشروی تعیین شد که اندکی دور از انتظار به نظر می‌رسید. با دقت در پارامترهای اندازه‌گیری‌شده مزرعه‌ای مشخص شد، این جویچه دارای کلوخه‌های بسیار زیادی بود (این کلوخه‌ها در اثر عملیات شخم، ایجاد شده بودند) از طرف دیگر دبی ورودی کم (۰/۱۱ لیتر بر ثانیه) سبب شد تا زمان پیشروی و در نتیجه ضریب زبری افزایش یابد. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت

نماید. Trout (1992) بیان کرد که علاوه بر رابطه نمایی، رابطه توانی هم برای بیان رابطه بین سرعت جریان و زبری مناسب است اما در سرعت‌های پایین کاربرد ندارد. روند کلی تغییرات، نشان‌دهنده رابطه معکوس دبی و ضریب زبری بود و با افزایش دبی جریان، ضریب زبری کاهش یافت (شکل‌های ۶ تا ۸). Ramezani Etedali *et al.* (2012) و Ebrahimiyan (2014) نتایج مشابهی را گزارش نمودند. همچنین با افزایش دبی، پراکندگی نقاط در نمودارها کاهش یافت که می‌تواند به علت کاهش تأثیر شرایط اولیه جریان در اثر افزایش دبی باشد (Trout, 1992). در آبیاری اول نسبت به آبیاری دوم و سوم، تغییرات دبی جریان ورودی و خروجی، تأثیر بیش‌تری بر ضریب زبری مانینگ در هر دو فاز موردبررسی داشت. این تغییرات در آبیاری‌های بعدی روند کاهشی داشتند تا حدی که در آبیاری سوم تقریباً نتایج ضریب زبری و دبی مستقل از یکدیگر بودند. اصولاً در آبیاری اول با توجه به این‌که کلوخه‌های فراوانی در جویچه وجود دارد، در دبی‌های پایین، جریان با سطح خاک تماس بیش‌تری داشته است، لذا مقاومت در برابر جریان بیش‌تر شده و ضریب زبری افزایش می‌یابد. با افزایش دبی جریان و عمق آب در آبیاری اول، کلوخه‌ها و سطح خاک اصطکاک کم‌تری در مسیر جریان آب ایجاد می‌نمایند و منجر به کاهش ضریب زبری می‌شود. با افزایش شماره آبیاری، کلوخه‌ها و ناهمواری‌های جویچه در اثر فرسایش و رسوب از بین رفته و سطح جویچه صاف‌تر شده و نیروی مقاوم در برابر حرکت جریان، کاهش می‌یابد. باید در نظر گرفت که در آبیاری شیاری مقاومت در برابر جریان، ناشی از سطح خاک است و این مقاومت با افزایش عمق تفاوت چندانی نمی‌کند (Esfandiari & Maheshwari, 1998). لذا با هموارتر شدن سطح جویچه، در آبیاری‌های دوم و سوم، برآزش هر نوع معادله‌ای ضریب همبستگی نزدیک به صفر خواهد داشت.

شکل (۶) نشان داد که رابطه دبی خروجی نسبت به دبی ورودی با ضریب زبری مانینگ (در آبیاری اول که رابطه بین دبی و ضریب زبری مشخص‌تر است) همبستگی بیش‌تری داشت. با این وجود باید بیان نمود که همبستگی رابطه دبی و ضریب زبری مانینگ در بیش‌ترین حالت از ۰/۶ تجاوز نکرده است، لذا نمی‌توان رابطه دقیقی بین دبی ورودی یا خروجی با ضریب زبری مانینگ در هیچ‌یک از حالت‌های موردبررسی در نظر گرفت. Trout (1992) تلاش کرد تا با استفاده از رگرسیون خطی، رابطه‌ای بین ضریب زبری مانینگ، سرعت جریان و شعاع هیدرولیکی بیابد، اما همبستگی این رابطه پایین ($R^2=0.6$) بود. Mailapalli *et al.* (2002) Sepaskhah & Bonder (2008) و Kamali *et al.* (2018) هم رابطه دبی و ضریب زبری را یک رابطه ضعیف و معکوس معرفی کردند. Esfandiari & Maheshwari (1998) نتیجه گرفتند که مقاومت هیدرولیکی موجود در جریان آب در جویچه‌های آبیاری نتیجه فعل و انفعالات پیچیده بین سطح آب و خاک است و تلاش برای یافتن رابطه بین ضریب زبری مانینگ، سرعت جریان و شعاع هیدرولیکی صحیح نیست، چرا که این متغیرها از نظر فیزیکی با یکدیگر در ارتباط نیستند و اگر داده‌های میدانی یک رابطه سیستماتیک را بین این پارامترها نشان دهد، باید آن را به‌عنوان یک اثر ثانویه در نظر گرفت. بنابراین هر تلاشی برای ایجاد رابطه بین این پارامترها، همبستگی پایینی خواهد داشت.

تأثیر رطوبت اولیه بر ضریب زبری مانینگ

شکل (۹) رابطه کلی ضریب زبری مانینگ در فاز پیشروی و ذخیره با رطوبت پیش از آبیاری را در تمام جویچه‌های موردبررسی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که رابطه رطوبت اولیه و ضریب زبری مانینگ رابطه‌ای ضعیف و معکوس است و با افزایش رطوبت اولیه، ضریب زبری مانینگ کاهش می‌یابد.

تأثیر دبی و رطوبت اولیه بر ضریب مانینگ در فازهای پیشروی و ذخیره در آبیاری جویچه‌ای

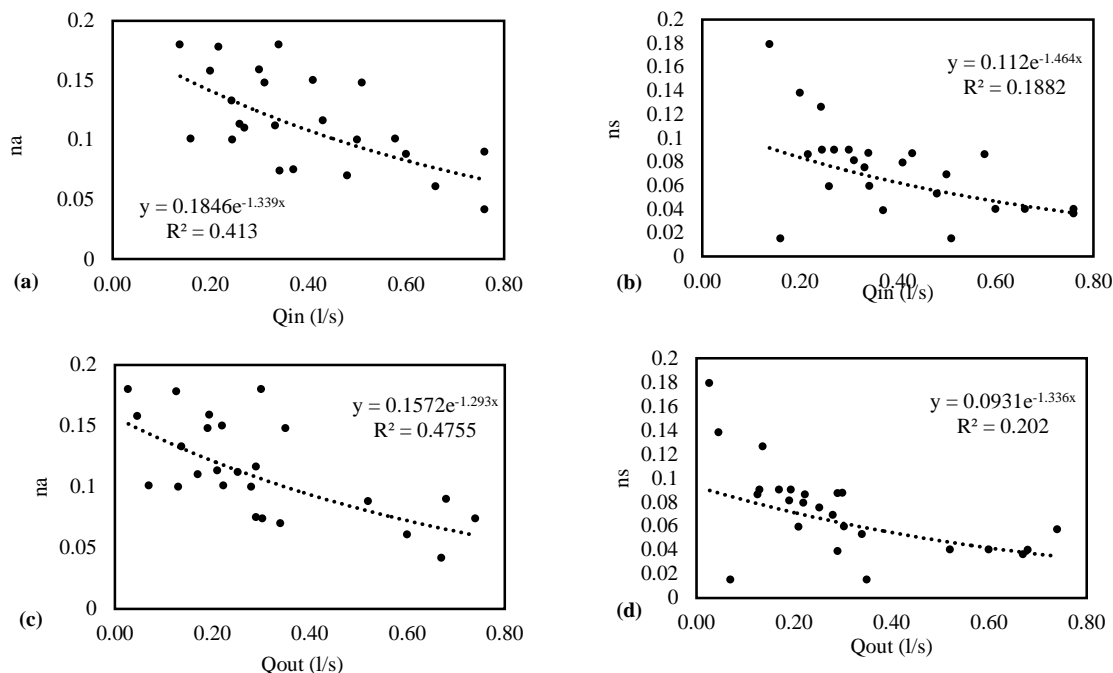


Figure 6. The relationship between manning roughness coefficient and flow rate of the first irrigation. The relation of a: Manning n in advance phase and inflow rate, b: Manning n in storage phase and inflow rate, c: Manning n in advance phase and outflow rate, d: Manning n in storage phase and outflow rate.

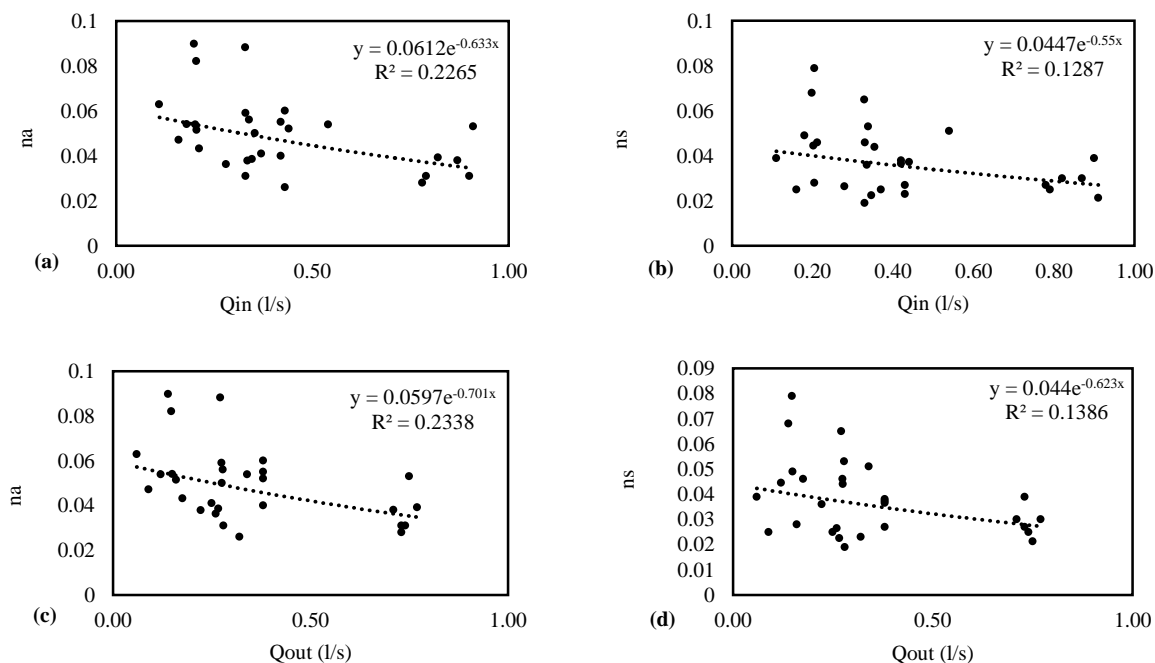


Figure 7. The relationship between manning roughness coefficient and flow rate of the second irrigation. The relation of a: Manning n in advance phase and inflow rate, b: Manning n in storage phase and inflow rate, c: Manning n in advance phase and outflow rate, d: Manning n in storage phase and outflow rate.

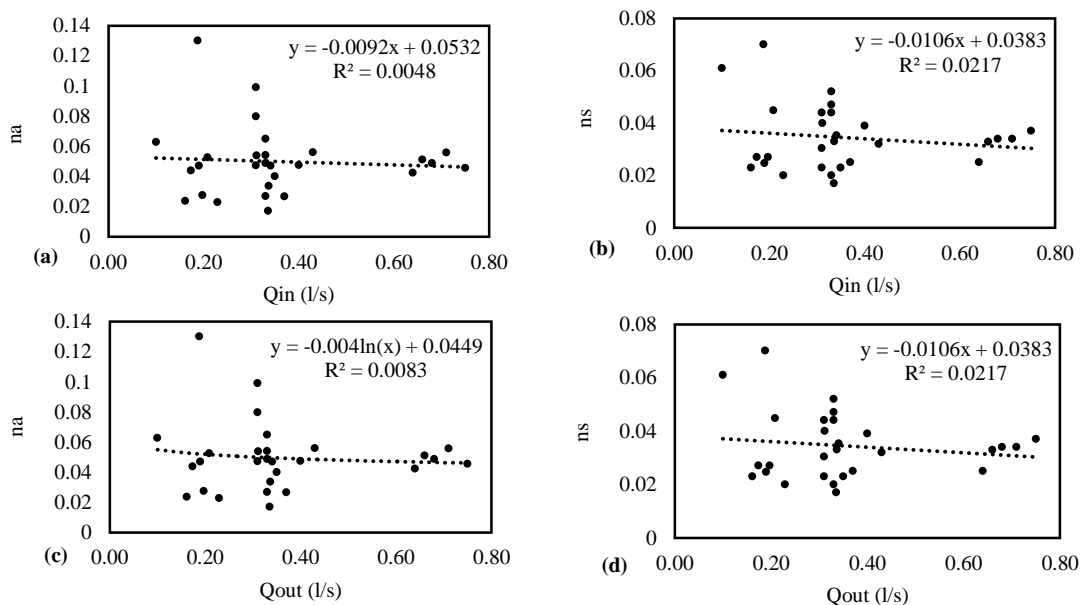


Figure 8. The relationship between manning roughness coefficient and flow rate of the third irrigation. The relation of a: Manning n in advance phase and inflow rate, b: Manning n in storage phase and inflow rate, c: Manning n in advance phase and outflow rate, d: Manning n in storage phase and outflow rate.

طول جویچه ندارد و تخمین آن معمولاً با خطا همراه است. هم‌چنین دور آبیاری ۵ و ۱۰ روزه در تابستان در جویچه‌های فاقد پوشش گیاهی سبب شد سطح خاک در هر دو تیمار حدوداً تا حد نقطه پژمردگی دائم خشک شود و تفاوت زیادی بین تیمارها مشاهده نشود، لذا تأثیر رطوبت و تیمار دور آبیاری به‌درستی دیده نشد. این R^2 پایین هم‌چنین نشان‌دهنده تأثیر غیرمستقیم رطوبت بر ضریب زبری است. در واقع رطوبت اولیه خاک بر نفوذ آب در خاک، سرعت پیشروی و سایر پارامترها اثرگذار است (Kamali et al., 2018) و منتج به کاهش زبری می‌شود، لذا تلاش برای یافتن رابطه مستقیم بین زبری و رطوبت بدون در نظر سایر پارامترها بی‌نتیجه خواهد بود.

در آبیاری اول، پراکندگی داده‌ها کم‌تر و R^2 نسبتاً بالاتر بود و با افزایش شماره رخدادهای آبیاری، پراکندگی داده‌ها بیش‌تر شد و R^2 کاهش یافت. هم‌چنین این پراکندگی داده‌ها و در نتیجه R^2 در فاز پیشروی نسبت به فاز ذخیره در هر سه رخدادهای آبیاری کم‌تر بود که می‌تواند

کاهش ضریب زبری با افزایش رطوبت اولیه خاک می‌تواند به کاهش نفوذ آب در خاک در اثر کاهش اختلاف پتانسیل و در نتیجه کاهش سرعت نفوذ آب در خاک، مرتبط باشد (Enciso-Medina et al., 1998). با کاهش سرعت نفوذ آب در خاک، سرعت حرکت جریان بیش‌تر شده و منجر به کاهش ضریب زبری مانینگ می‌گردد (Izadi & Wallender, 1985; Katopodes et al., 1990; Kamali et al., 2018). زبری را تابعی از رطوبت خاک معرفی کرده و بیان کردند که رطوبت به شکل غیرمستقیم بر نیروی اصطکاک و در نتیجه زبری مانینگ تأثیرگذار است.

شکل (۹) هم‌چنین نشان داد که بهترین معادله به‌منظور بیان رابطه بین ضریب زبری و رطوبت اولیه، توانی و با R^2 حدود ۰/۲ بود. خطا در تعیین درصد رطوبت می‌تواند یکی از دلایل پراکنش بالای نتایج باشد. اگرچه نمونه خاک در هر جویچه از سه نقطه استخراج شد و میانگین آن‌ها گزارش شد اما رطوبت خاک سطحی (صفر تا ۱۵ سانتی‌متر) با توجه به تغییرات مکانی ویژگی‌های فیزیکی خاک توزیع یکسانی در

بررسی اثر دبی بر ضریب زبری مانینگ نشان داد که رابطه‌ای معکوس و ضعیف بین دبی و ضریب زبری وجود داشت و با افزایش دبی، پراکندگی نقاط در نمودارها کاهش یافت. تغییرات دبی جریان ورودی و خروجی در آبیاری اول نسبت به آبیاری دوم و سوم، تأثیر بیش‌تری بر ضریب زبری مانینگ در هر دو فاز مورد بررسی داشت. این تغییرات در آبیاری‌های بعدی روند کاهشی داشتند تا حدی که در آبیاری سوم تقریباً نتایج ضریب زبری و دبی مستقل از یکدیگر بودند. نتایج هم‌چنین نشان داد که رابطه رطوبت اولیه و ضریب زبری مانینگ نیز رابطه‌ای ضعیف و معکوس است و با افزایش رطوبت اولیه، ضریب زبری مانینگ کاهش می‌یابد. توجه به این نکته ضروری است که رابطه دبی و ضریب زبری مانینگ نسبت به رطوبت اولیه قوی‌تر است.

در نهایت پیشنهاد می‌شود که ضریب زبری مانینگ در شرایط مختلف مزرعه‌ای دیگری (نظیر دبی، شیب کف، بافت خاک و طول جویچه) و در بازه‌های زمانی مختلف تعیین شود. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود که تأثیرات سایر عوامل مؤثر بر زبری مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

از حمایت مالی پارک علم و فناوری دانشگاه تهران از این تحقیق در قالب اعتبار شماره ۵۸۸۸۶۵۶، تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

- Amiri, M.J., Bahrami, M., Hamidifar, H., & Eslamian, S. (2016). Modification of furrow Manning's roughness coefficient estimation by finite difference technique under surge and continuous flow. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 6(3), 226-237.

به‌علت ماهیت فاز پیشروی و فرایند خیس شدگی جویچه توسط جبهه پیشروی آب باشد. این در حالی است که این تأثیر در فاز ذخیره به‌دلیل نفوذ آب در خاک و اشباع لایه سطحی در طی تکمیل شدن فاز پیشروی، کم‌تر بود.

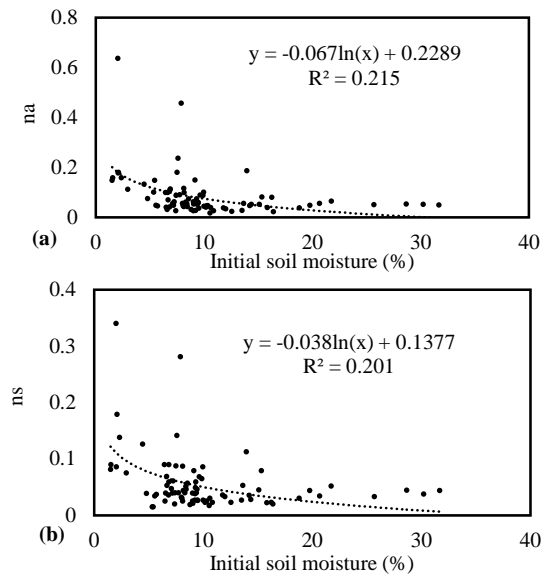


Figure 9. The relationship between manning roughness coefficient and the initial soil moisture (mass percentage). a. advance phase, b. storage phase.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای در فازهای پیشروی و ذخیره و در سه رخداد آبیاری متوالی تعیین شد. بدین منظور از مدل SIPAR_ID و معادله مانینگ به‌ترتیب در فازهای پیشروی و ذخیره استفاده شد. نتایج نشان داد که ضریب زبری مانینگ در هر دو مزرعه در آبیاری اول بیش‌ترین مقدار را داشت و با افزایش شماره رخداد آبیاری این مقدار کاهش یافت. در هر دو مزرعه مقدار ضریب زبری مانینگ در فاز پیشروی نسبت به فاز ذخیره بیش‌تر بود. میانگین ضریب زبری مانینگ در هر دو مزرعه در آبیاری‌های اول تا سوم در فاز پیشروی به‌ترتیب ۰/۰۵۶، ۰/۰۵۲ و در فاز ذخیره به‌ترتیب ۰/۰۰۹، ۰/۰۰۴، ۰/۰۳۵ برآورد شد.

2. Bahmani, O., Akhavan, S., Khoramian, M., & Gholizadeh Khalteh, G. (2020). Effect of different tillage methods and furrow spacing on soil hydraulic characteristics in furrow irrigation. *Irrigation Sciences and Engineering*, 43(1), 145-156. (in Persian)
3. Chow, V. T. (1959). *open-channel hydraulics*. New York. McGRAW-HILL Book Company.
4. Clemmens, A. J., Eisenhauer, D. E., & Maheshwari, B. L. (2001). Infiltration and roughness equations for surface irrigation: How Form Influences Estimation. *ASAE Meeting Paper*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
5. Ebrahimian, H. (2014). Soil infiltration characteristics in alternate and conventional furrow irrigation using different estimation methods. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(6), 1904-1911.
6. Enciso-Medina, J., Martin, D., & Eisenhauer, D. (1998). Infiltration model for furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 124(2), 73-80.
7. Esfandiari, M., & Maheshwari, B. L. (1998). Suitability of selected flow equations and variation of Manning's n in furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 124(2), 89-95.
8. Grassi, C. J. (1972). *Infiltration Characteristics Heavy-Textured Soil*. Doctoral dissertation. Wageningen University. The Netherlands.
9. Harun-ur-Rashid, M. (1990). Estimation of Manning's roughness coefficient for basin and border irrigation. *Agricultural Water Management*, 18(1), 29-33.
10. Izadi, B., & Wallender, w. w. (1985). Furrow hydraulic characteristics and infiltration. *Transactions of the ASAE*, 28(6), 1901-1908.
11. Kamali, P., Ebrahimian, H., & Parsinejad, M. (2018). Estimation of Manning roughness coefficient for vegetated furrows. *Irrigation Science*, 36(6), 339-348.
12. Kassem, M. A., & Ghonimy, M. I. (2011). Determination of Manning roughness coefficient for border irrigation system. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 28(2), 302-323.
13. Katopodes, N. D., Tang, J., & Clemmens, A. J. (1990). Estimation of surface irrigation parameters. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116(5), 676-696.
14. Li, Z., & Zhang, J. (2001). Calculation of field Manning's roughness coefficient. *Agricultural Water Management*, 49(1), 153-161.
15. Mailapalli, D. R., Raghuvanshi, N. S., Singh, R., Schmitz, G. H., & Lennartz, F. (2008). Spatial and temporal variation of Manning's roughness coefficient in furrow irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(2), 185-192.
16. Nie, W.-B., Li, Y.-B., Zhang, F., Dong, S.-X., Wang, H., & Ma, X.-Y. (2018). A method for determining the discharge of closed-end furrow irrigation based on the representative value of Manning's roughness and field mean infiltration parameters estimated using the PTF at regional scale. *Water*, 10(12), 1825.
17. Nie, W., Fei, L., & Ma, X. (2014). Impact of infiltration parameters and Manning roughness on the advance trajectory and irrigation performance for closed-end furrows. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12(4), 1180-1191.
18. Ramezani Etedali, H., Liaghat, A., & Abbasi, F. (2012). Evaluation of the evaluate model for estimating Manning's roughness in furrow irrigation. *Irrigation and Drainage*, 61(3), 410-415.
19. Rezaverdinejad, V., Ahmadi, H., Hemmati, M., & Ebrahimian, H. (2016). Evaluation and comparison of different approaches of infiltration parameters estimation under different furrow irrigation systems and inflow regimes. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 20(76), 161-176. (in Persian).
20. Rodríguez, J. A., & Martos, J. C. (2010). SIPAR_ID: Freeware for surface irrigation parameter identification. *Environmental Modelling & Software*, 25(11), 1487-1488.
21. Sedaghatdoost, A., & Ebrahimian, H. (2015). Calibration of infiltration, roughness and longitudinal dispersivity coefficients in furrow fertigation using inverse modelling with a genetic algorithm. *Biosystems Engineering*, 136(1), 129-139.
22. Sepaskhah, A. R., & Bonder, H. (2002). Estimation of Manning roughness coefficient for bare and vegetated furrow irrigation. *Biosystems Engineering*, 83(3), 351-357.
23. Trout, T. J. (1992). Flow velocity and wetted perimeter effects on furrow infiltration. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 35(3), 855-863.
24. USDA. (1974). *SCS National Engineering Handbook: Irrigation. Border irrigation*.
25. Walker, W. R. (1987). *Surface irrigation theory and practice*. (1st ed.). New Jersey. Prentice-hall.
26. Zarakani, K., Remazani Etedali, H., & Daneshkar Arasteh, P. (2020). Estimation of infiltration parameters and Manning roughness coefficient under two continuous and cutback flows regims Keyvan. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 9(2), 89-101. (in Persian)