

## ارزیابی کارایی نرم افزار Fluent برای شبیه سازی و ساخت آبیاش دبی متغیر به منظور استفاده در یک سیستم آبیاری خودکار

هانیه روشن<sup>۱</sup> - سید جلیل رضوی<sup>۲\*</sup> - مهدی قیصری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۵

### چکیده

بحران کم‌آبی از چالش‌های جهان امروز است که برای حل آن کشورهای مختلف باید منابع آب خود را به بهترین نحو مدیریت کنند. اساس کشاورزی دقیق بر مبنای کاربرد نهاده‌ها به صورت خاص مکانی است، تا بتوان متناسب با نیاز موجود و شرایط خاک و گیاه نهاده‌ها را مصرف نمود. آب از جمله این نهاده‌هاست که استفاده بهینه از آن بر اساس راهبرد آبیاری نرخ متغیر در کشاورزی دقیق مورد توجه است. هدف اصلی از انجام این تحقیق، طراحی و ساخت یک آبیاش هوشمند نرخ متغیر در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت بود. به این منظور طرح اولیه آبیاش پیشنهادی شامل یک پلانجر کنترل کننده جریان و فشار با استفاده از نرم افزار Fluent شبیه‌سازی شد. سپس نقشه اصلی آبیاش تهیه و برای ساخت طی سه مرحله ساخت مدل، ریخته‌گری و تراشکاری اقدام گردید. آزمایش نحوه کار آبیاش ساخته شده در سه سطح فشار و سه موقعیت قرارگیری پلانجر (از کمترین تا بزرگترین سطح مقطع عبور آب از قسمت داخلی آبیاش) و سه قطر نازل انجام شد. نتایج نشان داد پلانجر توانایی تغییر دبی و فشار خروجی آبیاش را دارد و روند تغییرات دبی و فشار تحت تأثیر موقعیت پلانجر بسیار پیچیده است. مدل Fluent برای شرایطی که پلانجر نیمه باز تا کاملاً باز باشد، کارایی خوبی دارد. اما در شرایطی که پلانجر مسیر جریان را بیشتر از نصف مسدود کند، کارایی خوبی ندارد.

### واژه‌های کلیدی: آبیاش نرخ متغیر، آبیاری، شبیه‌سازی، کشاورزی دقیق

### مقدمه

توجه به تخمین راندمان ۳۰ تا ۴۰ درصدی آن، به روشنی می‌توان دریافت که هدررفت آب در این بخش قابل توجه است.

کمبود منابع آب به دلیل خشکسالی‌های اخیر در اکثر مناطق کشور و همچنین گرایش کشاورزان به سمت مکانیزه نمودن عملیات زراعی و تسریع در عملیات آبیاری باعث شده است که نیاز به وجود سامانه‌های آبیاری با راندمان بالا بیشتر احساس شود. در میان سامانه‌های آبیاری، آبیاری بارانی یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای دستیابی به راندمان کاربرد بالا است (Mc Lean et al., 2000).

آبیاری بارانی از جمله روش‌های آبیاری تحت فشار است که به دلیل توزیع یکنواخت‌تر آب در سطح مزرعه نسبت به روش‌های آبیاری سطحی، بازده و کارایی مصرف آب را افزایش داده و هزینه کارگری را کاهش می‌دهد. همچنین این روش آبیاری قابل انطباق با انواع خاک‌ها، توپوگرافی و محصولات بوده و از آن برای تعدیل شرایط دمایی، آبیاری تکمیلی و آب‌شویی نیز استفاده می‌شود. بازده آبیاری در سامانه‌های آبیاری تحت فشار بیشتر از ۷۰ درصد است که در مقایسه با بازده ۳۰ درصدی روش‌های آبیاری سنتی، بیانگر کاهش تلفات آب می‌باشد. با وجود این طبق آمار، کمتر از ۱۰ درصد اراضی کشور به سامانه‌های آبیاری تحت فشار مجهز می‌باشند (Kheirabi,

کشور ایران از نظر موقعیت جغرافیایی جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان بوده و لذا در رابطه با آب در شرایط بحرانی به سر می‌برد. با توجه به شرایط اقلیمی خشک کشور و لزوم توسعه بخش کشاورزی به عنوان بخش تأمین کننده غذای جامعه، نیاز به بهره‌گیری از روش‌های مدرن آبیاری و توجه به بهره‌وری هر واحد آب مصرفی در کشاورزی بیش از پیش احساس می‌شود (Kheirabi, 1998). بیشترین مصرف آب در ایران در بخش کشاورزی است که حدود ۹۲ درصد آب استحصال را تشکیل می‌دهد و ۸ درصد باقی مانده سهم صنعت و شرب است. لازم به ذکر است که کشور ایران بیش از ۸ میلیون هکتار مزارع آبی دارد و مصرف کنندگان بخش کشاورزی، برای آبیاری زمین خود بیشتر از شیوه‌های سنتی استفاده می‌کنند و با

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
(\*) نویسنده مسئول: Email: jrazavi@cc.iut.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

میزان دبی خروجی با تغییر مساحت سطح تصویر شده نازل، تغییر داده شد. این کار با تغییر مکان عمودی یک میله با مقطع مخروطی، که دارای شبیهی برابر شیب خود نازل بوده و درون آن جابه‌جا می‌شد، انجام گرفت. جابه‌جایی عمودی میله توسط یک استپ موتور و یک پولی صورت می‌گرفت. طبق نظر آرمیندو و همکاران، نتایج نشان داده شده برای کم کردن عمق آب کاربردی در آبیاری و پیش بینی نرخ جریان آب، رضایت‌بخش بود (Armino *et al.*, 2011).

در سال‌های اخیر رویکرد استفاده از آبیاش‌ها و نازل‌های دبی متغیر با هدف بهینه‌سازی مصرف آب در چارچوب مدیریت خاص مکانی مورد توجه قرار گرفته است. اساساً فن‌آوری نرخ متغیر با هدف کاربرد نهاده‌ها در زمان معین، به میزان معین و در مکان معین طراحی و بر روی تجهیزات و ماشین‌های کشاورزی و از جمله سامانه‌های مکانیزه آبیاری تحت فشار نصب گردیده‌اند. این نوع فن‌آوری تاکنون برای سامانه‌های عقربه‌ای و خطی به صورت‌های مختلف به کار گرفته شده‌اند. لیکن در خصوص سامانه‌های کلاسیک ثابت این فن‌آوری تنها به صورت زمان وابسته<sup>۴</sup> و در قالب قطعات مزارع و به صورت ناحیه بندی اجرا گردیده ولی بر روی آبیاش هنوز گزارشی مبنی بر نرخ متغیر نمودن آن‌ها ارائه نشده است.

هدف اصلی از انجام تحقیق حاضر طراحی و ساخت آبیاش نرخ متغیر با پلانجر با کمک نرم افزار Fluent و ارزیابی کارایی مدل مذکور در شبیه سازی دبی و فشار خروجی آبیاش بود.

## مواد و روش‌ها

برای ساخت آبیاش به منظور سازگاری با تجهیزات موجود در بازار از ابعاد اولیه آبیاش ساخت شرکت آمو استفاده شد، با این تفاوت که طول آبیاش بلندتر انتخاب شد. طول بلندتر قابلیت قرارگیری یک پلانجر مخروطی شکل درون آن که امکان جابه‌جا شدن برای به وجود آوردن سطح مقطع متغیر برای عبور آب و در نتیجه تغییرات دبی را داشته باشد، را ایجاد می‌کرد.

## شبیه‌سازی با نرم‌افزار Fluent

برای به دست آوردن هندسه آبیاش ابتدا طرح ابتدایی بر اساس ابعاد آبیاش‌های موجود در بازار در نرم افزار Catia ترسیم شد. دلیل استفاده از ابعاد آبیاش‌های موجود در بازار، توانایی نصب آبیاش ساخته شده روی گیربکس Luxor و همچنین هماهنگی قطعات موجود در بازار با آبیاش ساخته شده و امکان استفاده از آن‌ها بود.

بعد از مشخص شدن ابعاد اصلی آبیاش، چند ایده برای اجرای طرح نرخ متغیر کردن آبیاش مورد بررسی قرار گرفت. برای این

در کشورهای پیشرفته به دلیل مسطح بودن زمین‌ها و یکپارچگی آن‌ها در مساحت‌های بالا، سامانه‌های عقربه‌ای و خطی رایج می‌باشند، ولی در ایران به دلیل شرایط توپوگرافی و عدم یکپارچگی مزارع از سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک استقبال بیشتری شده است. همچنین، این سامانه در زمین‌های ناهموار و دامنه‌ها نیز به خوبی قابل اجرا است. کشاورزی دقیق به عنوان شاخه‌ای جدید از کشاورزی مطرح شده است و اساس آن بر مبنای کاربرد نهاده‌ها به صورت خاص مکانی بنا نهاده شده است تا بتوان متناسب با نیاز موجود و شرایط خاک و گیاه اقدام به مصرف نهاده‌ها نمود. از جمله این نهاده‌ها آب می‌باشد که به دلیل افزایش سطح زیر کشت از یک طرف و کاهش نزولات آسمانی و منابع آب زیرزمینی (به دلیل تغییرات اقلیمی کره زمین) از طرف دیگر، بسیار محدود است. بر این اساس، در کشاورزی دقیق استفاده بهینه از منابع آبی براساس راهبرد آبیاری نرخ متغیر مورد توجه است.

در سامانه آبیاری بارانی نرخ متغیری که کینگ و کینساید (۲۰۰۴) طراحی کردند یک شیر دبی متغیر به نحوی ساخته شد که اندازه نازل آبیاش به وسیله یک پین رفت و برگشتی هم مرکز با سوراخ نازل کاهش داده می‌شد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که آبیاش دبی متغیر به طور بالقوه می‌تواند برای مدیریت آبیاری خاص مکانی در سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای<sup>۱</sup> و خطی متحرک<sup>۲</sup> مورد استفاده قرار گیرد (King and Kincaid, 2004).

یک سامانه آبیاری خطی نرخ متغیر<sup>۳</sup> (VRLI) برای اعمال خاص مکانی آب به منظور تطبیق با تغییرپذیری منطقه توسط هان و همکاران (۲۰۰۹) توسعه یافت. این سامانه با استفاده از روش نازل پالسی و سامانه کنترل سرعت متغیر، آب را با نرخ متغیر اعمال می‌کرد. این سامانه قابلیت کنترل و اعمال آب بر اساس رطوبت واقعی خاک، اطلاعات تبخیر از سطح مزرعه و یا شبکه مرجع آب و هوایی را دارا بود (Han *et al.*, 2009).

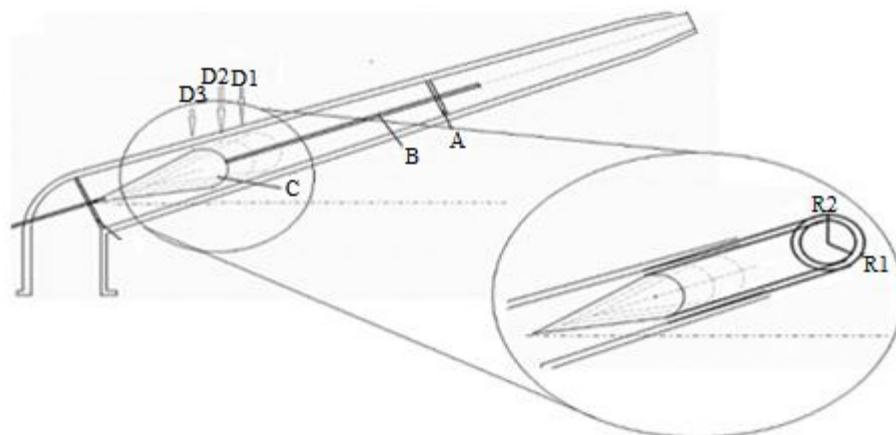
یک آبیاش دبی متغیر در سامانه آبیاری کلاسیک ثابت بر مبنای حسگر به صورت خاص مکانی در دانشگاه صنعتی اصفهان ساخته شد. در این تحقیق، آبیاری بر اساس اطلاعات داده شده به یک کنترلر از قبیل شیب زمین، بافت خاک، عمق توسعه ریشه، سطح دبی مورد نظر و طول زمان به طور هوشمند انتخاب شده و شروع گردید. آبیاش دبی متغیر طراحی شده و مونتاژ شده با شیر برقی، توسط سه نازل، هفت سطح دبی را شامل می‌گردید (Rezaei Shahraki, 2010).

آرمیندو و همکاران (۲۰۱۱) یک آبیاش که قابلیت استفاده در سامانه‌های آبیاری بارانی حرکت خطی و عقربه‌ای و قابلیت استفاده در مدیریت آبیاری را داشت توسعه داده و ارزیابی کردند. در این دستگاه

- 1- Center pivot irrigation
- 2- Lateral move irrigation
- 3- Variable rate lateral irrigation

سه مرحله اجرا شد. مرحله اول کار ایجاد یک طرح ساده از آبپاش نهایی در نرم افزار Catia برای هر قطر نازل و هر موقعیت قرارگیری پلانجر بود. سپس این طرح در نرم افزار Gambit مش زده شده و لایه‌های مرزی در آن تعیین شد. در نهایت فایل مش زده شده در نرم افزار Fluent اجرا و شرایط مرزی مشخص شد. مدل استفاده شده در این شبیه‌سازی مدل Spalart Almaras بود که یک مدل تک معادله‌ای است. مدل اغتشاشی Spalart Almaras یک مدل تک معادله‌ای ساده است که یک معادله مدل شده انتقال را برای به‌دست آوردن لزجت متلاطم حل می‌کند. مدل مذکور هنوز جزو رایج‌ترین مدل‌ها در کاربردهای سیالات و هوافضائی می‌باشد. متغیر انتقالی در مدل مذکور، لزجت سینماتیک متلاطم (به‌جز در نواحی نزدیک دیواره) می‌باشد. امکان استفاده از مدل‌های چند معادله‌ای و یا مش زدن متغیر روی لایه‌های مرزی، به‌دلیل پایین بودن پردازشگر سامانه کامپیوتری مورد استفاده برای اجرای نرم افزار، امکان‌پذیر نبود.

منظور تمام ایده‌های مطرح شده در نرم افزار Catia اجرا شده و برای ارزیابی عملکرد در نرم افزار Fluent مورد بررسی قرار گرفت. نهایتاً طرح پلانجر مخروطی شکل (شکل ۱) به‌منظور تغییر در سطح مقطع خروج آب و در نتیجه ایجاد تغییرات در دبی و فشار آب انتخاب شد. برای اجرای شبیه‌سازی، چون مشخصات ابعادی آبپاش مجهول بود اجباراً برای شروع کار به روش سعی و خطا، فشار ورودی به آبپاش را ثابت گرفته و میزان دبی خروجی، فشار و سرعت آب در خروجی آبپاش، محاسبه گردید. شبیه‌سازی برای ۱۵ موقعیت مختلف پلانجر درون آبپاش، سه اندازه متفاوت از دهانه آبپاش، سه اندازه برای پلانجر و برای فشار ورودی ۴ اتمسفر انجام شد. بعد از مشخص شدن تمامی ابعاد آبپاش و پلانجر و تکمیل شدن طرح نرخ متغیر کردن آبپاش، طرح نهایی در نرم افزار Catia آماده شد (شکل ۲). شبیه‌سازی عملکرد تغییرات دبی و فشار در آبپاش نرخ متغیر در



**شکل ۱** - طرحواره آبپاش نرخ متغیر ساخته شده به همراه قسمت‌های مختلف آن و موقعیت‌های قرارگیری پلانجر؛ (A) نگهدارنده میله راهنما، (B) میله راهنما، (C) پلانجر، (D1)، (D2) و (D3) موقعیت‌های قرارگیری پلانجر، (R1) شعاع مقطع پلانجر، (R2) شعاع مقطع آبپاش در هر موقعیت

**Fig.1.** Schematic of the variable flow rate sprinkler, its different parts and plunger positions; (A) Guide rod retainer, (B) Guide rod, (C) Plunger, (D1), (D2) and (D3) Plunger positions, (R1) Radius of plunger cross section, (R2) Radius of sprinkler cross section in each position



**شکل ۲** - آبپاش طراحی شده در نرم افزار Catia  
**Fig.2.** Sprinkler designed in Catia software



شکل ۳- سامانه آبیاش آماده شده برای ارزیابی مزرعه‌ای؛ (۱) آبیاش نرخ متغیر ساخته شده، (۲) جعبه دنده، (۳) فشارسنج، (۴) رایزر

Fig.3. Sprinkler system prepared for field evaluation; (1) Fabricated variable flow sprinkler, (2) Gearbox, (3) Pressure gauge, (4) Riser

شبیه‌سازی شده،  $O_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده و  $N$  تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده است.

مقدار NRMSE بر حسب درصد و با رابطه (۲) بیان می‌شود و نسبت RMSE به متوسط داده‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

$$NRMSE = \frac{RMSE \times 100}{\bar{O}} \quad (2)$$

که در آن  $\bar{O}$  میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است.

شاخص آماری توافق ویلموت (d) شاخصی است که همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده را تعیین می‌کند (Willmott, 1982). این پارامتر دارای مقداری بین صفر تا یک است

که مقدار یک بهترین برازش می‌باشد و از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$d = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (3)$$

پارامترهای d و RMSE برای ارزیابی کارایی مدل‌ها توسط

محققین توصیه شده است. ویلموت بیان می‌کند که RMSE از جمله بهترین پارامترها برای ارزیابی کارایی مدل است (Willmott, 1982).

## نتایج و بحث

### شبیه‌سازی و ساخت

شبیه‌سازی اولیه برای انتخاب ابعاد پلانجر در مدل Fluent در سه قطر مختلف نازل خروجی، در فشار ۴ اتمسفر و برای سه طول مختلف از پلانجر در سه موقعیت قرارگیری پلانجر در طول کورس جابه‌جایی آن انجام شد. طبق جدول ۱ بر اساس بیشترین تغییرات دبی ناشی از جابه‌جایی پلانجر در هر قطر نازل و کمترین تغییرات فشار ایجاد شده، طول ۴۵ میلی‌متر برای پلانجر انتخاب شد. این طول پلانجر هم توانایی ایجاد تغییرات دبی و فشار لازم را دارا است و هم توانایی جابه‌جایی در کورس کاری لازم برای ایجاد چند سطح مقطع خروجی آب را دارد.

بعد از مشخص شدن ابعاد آبیاش، در سه سطح فشار ورودی و سه قطر نازل و سه موقعیت پلانجر در طول کورس جابه‌جایی آن دبی خروجی و فشار خروجی اندازه‌گیری شد. آبیاش در سایت آبیاری هوشمند مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در ابعاد ۶۰×۶۰ متر مورد ارزیابی قرار گرفت. با تنظیم فشار ورودی میزان دبی و شعاع پرتاب آب تحت تأثیر موقعیت پلانجر اندازه‌گیری شد. در سه سطح فشار، سه قطر نازل خروجی آب از سر آبیاش و سه موقعیت قرارگیری پلانجر در داخل آبیاش ارزیابی در قالب یک طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای اطمینان از کارایی مدل Fluent در شبیه‌سازی جریان آبیاش داده‌های مزرعه‌ای با داده‌های خروجی مدل Fluent مقایسه گردید. در صورتی که دقت مدل تأیید شود، می‌توان از این مدل برای بررسی سناریوهای مختلف جهت بهبود شرایط هیدرولیکی آبیاش بهره برد و در هزینه‌های ساخت نمونه صرفه جویی نمود. آبیاش نهایی شامل آبیاش نرخ متغیر، گیربکس و فشارسنج برای ارزیابی مزرعه‌ای آماده شد (شکل ۳).

### تحلیل آماری

به منظور ارائه یک تحلیل، نتایج حاصل از شبیه‌سازی و مقادیر به‌دست آمده از ارزیابی آبیاش با هم مقایسه شده و میزان خطای شبیه‌سازی مدل برآورد گردید. ارزیابی شبیه‌سازی بر اساس فشار خروجی آبیاش و دبی خروجی برای موقعیت‌های مختلف پلانجر، سه قطر نازل و سه سطح فشار ورودی صورت گرفت. از شاخص‌های آماری متوسط، RMSE، d، NRMSE و  $R^2$  برای بررسی دقت شبیه‌سازی استفاده شد.

شاخص آماری RMSE بیانگر میزان تفاوت بین داده شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده می‌باشد و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (1)$$

که در آن، RMSE ریشه میانگین مربعات خطا،  $P_i$  مقادیر

**جدول ۱ - نتایج شبیه‌سازی توسط نرم افزار Fluent برای طول پلانجر**

**Table 1- Fluent simulation results for plunger length**

طول پلانجر (mm) Plunger length (mm)									قطر نازل Nozzle diameter (mm)	تغییرات دبی* Flow variations ( $m^3 h^{-1}$ )
50			45			40				
12	10	8	12	10	8	12	10	8	تغییرات فشار* Pressure variations (Bar)	
2.69	1.58	1.42	2.81	1.73	1.47	2.63	1.41	1.32		
2.98	2.75	1.54	2.45	2.58	1.33	2.43	2.12	1.15		

\* تغییرات دبی و فشار در موقعیت‌های مختلف پلانجر شبیه‌سازی شده در نرم افزار Fluent

\* Flow and pressure variations in different plunger positions simulated by Fluent

**جدول ۲ - نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی آبیاش توسط نرم افزار Fluent**

**Table 2- Results of simulation for the sprinkler using Fluent**

فشار ورودی (Bar) Inlet pressure									قطر نازل (mm) Nozzle diameter	موقعیت پلانجر Plunger position
6			5			4				
D3	D2	D1	D3	D2	D1	D3	D2	D1	دبی خروجی Outlet flow ( $m^3 h^{-1}$ )	
7.70	6.24	6.25	6.84	5.69	5.27	6.54	5.02	5.07		8
8.11	8.00	6.13	7.46	7.24	6.65	7.22	6.27	5.59	10	
10.00	8.99	7.63	9.48	8.34	6.79	8.98	7.94	6.17	12	
5.94	5.98	3.81	4.95	4.98	3.40	3.96	3.93	2.70	8	
5.65	5.57	2.58	4.72	4.25	2.14	3.79	3.57	1.21	10	
5.25	4.13	1.89	4.39	2.94	1.58	3.54	2.61	1.00	12	

بررسی شاخص NRMSE می‌توان مشاهده نمود که نرم افزار توانسته است در تمامی حالت‌ها، دبی خروجی را در محدوده مناسبی از خطا شبیه‌سازی کند.

کمترین مقدار NRMSE و بیشترین مقدار برای ضریب d در نازل ۸ میلی‌متر و در موقعیت پلانجر D3 مشاهده شد. در نازل ۱۰ میلی‌متر نیز موقعیت پلانجر D3 بهترین نتایج شبیه‌سازی را داشت. در بین تمامی حالت‌های موجود در نتایج به‌دست آمده برای دبی خروجی، نازل ۱۰ میلی‌متر و موقعیت D3، کمترین مقدار NRMSE و بالاترین مقدار ضریب d را داشتند که بیان‌کننده دقت شبیه‌سازی مدل Fluent در شبیه‌سازی جریان در بازشدگی کامل پلانجر می‌باشد یا به‌عبارتی ضعف نرم‌افزار Fluent در شبیه‌سازی دبی خروجی آبیاش با وجود پلانجر می‌باشد.

برای شبیه‌سازی فشار در نازل با قطر ۸ میلی‌متر کمترین مقدار NRMSE و بیشترین مقدار ضریب d در موقعیت D3 پلانجر مشاهده شد. در نازل ۱۰ میلی‌متر نیز با در نظر گرفتن کمترین میانگین درصد خطا و پایین‌ترین مقدار NRMSE، موقعیت D3 بهترین نتایج شبیه‌سازی برای فشار را نشان داد. در مجموع نازل ۸ میلی‌متری در موقعیت باز پلانجر D3 بهترین نتایج را نشان داد، به این ترتیب که کمترین مقدار NRMSE و بیشترین مقدار ضریب d را به‌خود اختصاص داد. در بررسی اثر قطر نازل روی تغییرات دبی، بدون در نظر گرفتن تغییرات فشار و تغییرات موقعیت پلانجر، بهترین نتایج

بعد از تعیین ابعاد پلانجر، در سه قطر نازل خروجی و سه موقعیت قرارگیری پلانجر نقشه‌های Catia آماده شده و در نرم افزار Gambit مش بندی شد. سپس هر کدام از فایل‌های mesh در نرم افزار Fluent در سه فشار ورودی ۴، ۵ و ۶ اتمسفر اجرا شد و دبی خروجی و فشار خروجی برای آن‌ها به‌دست آمد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در جدول ۲ آورده شده است.

### بررسی شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent برای دبی و فشار خروجی آبیاش

بررسی نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبیاش ساخته شده در دو بخش اصلی شبیه‌سازی دبی خروجی و فشار خروجی آبیاش انجام شد. در جدول ۳ عملکرد نرم افزار در شبیه‌سازی دبی خروجی، صرف نظر از تغییرات فشار، مورد بررسی قرار گرفته است. با مطالعه شاخص NRMSE می‌توان مشاهده نمود که نرم افزار توانسته است در تمامی حالت‌ها دبی خروجی را در محدوده مناسبی از خطا شبیه‌سازی کند. در قطر نازل ۸ میلی‌متر برای موقعیت پلانجر در D3 که بیشترین بازشدگی را داشته است بیشترین مقدار شاخص d و نیز کمترین مقدار NRMSE مشاهده شد. در نازل با قطر ۱۰ کمترین مقدار درصد خطا برای حالت D2 مشاهده شد.

در جدول ۴ عملکرد نرم افزار در شبیه‌سازی فشار خروجی صرف‌نظر از تغییرات فشار مورد بررسی قرار گرفته است. در این مورد با

دهانه خروجی، نتیجه بهتری در مقایسه نتایج شبیه سازی و نتایج حاصل از ارزیابی مشاهده شد. بررسی نتایج حاصل از تأثیر قطر نازل بر تغییرات فشار خروجی نشان داد که نازل ۸ کمترین مقدار NRMSE را بر مقدار بالای ضریب d، با کمترین میانگین درصد خطا داشت (جدول ۶).

نازل با قطر ۱۲ میلی متر دیده شد که کمترین مقدار NRMSE و بیشترین مقدار ضریب d را نسبت به قطرهای دیگر نازل داشت (جدول ۵). به دلیل اینکه تغییرات دبی تحت تأثیر تغییرات فشار و یا تغییرات ناشی از جابه جایی پلانجر می باشد، روند خاصی در میزان R<sup>2</sup> در تمامی قطرها وجود ندارد. ولی با بالا رفتن قطر نازل به دلیل باز شدن

**جدول ۳-** مقایسه نتایج شبیه سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه ای آبیاش برای دبی خروجی آبیاش تحت تأثیر قطر نازل و موقعیت پلانجر

**Table 3-** A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit flow as affected by nozzle radius and plunger position

واقعی Real		شبیه سازی Simulation				موقعیت پلانجر Plunger position		قطر نازل (mm) Nozzle diameter
متوسط (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ) Average	میانگین درصد خطا MPE	d	NRMSE (%)	RMSE (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	متوسط (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ) Average		
19.07	23.95	0.24	15.20	0.69	0.99	17.02	D1	8
19.70	42.50	0.64	10.84	0.99	0.92	16.09	D2	
19.11	31.01	0.72	10.38	0.66	0.98	16.94	D3	
16.90	39.30	0.43	13.14	0.74	0.84	19.10	D1	10
20.74	12.31	0.95	4.77	0.33	0.84	21.62	D2	
13.80	13.38	0.97	2.57	0.18	0.99*	13.45	D3	
-	-	-	-	-	-	-	D1	12
23.58	21.24	0.50	7.76	0.61	0.94	25.26	D2	
-	-	-	-	-	-	-	D3	

\* مربوط به مشاهدات در دو سطح فشار

\* Related to observations in two pressure levels

**جدول ۴-** مقایسه نتایج شبیه سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه ای آبیاش برای فشار خروجی آبیاش تحت تأثیر قطر نازل و موقعیت پلانجر

**Table 4-** A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit pressure as affected by nozzle radius and plunger position

واقعی Real		شبیه سازی Simulation				موقعیت پلانجر Plunger position		قطر نازل (mm) Nozzle diameter
متوسط (Bar) Average	میانگین درصد خطا MPE	d	NRMSE (%)	RMSE (Bar)	R <sup>2</sup>	متوسط (Bar) Average		
2.60	29.07	0.68	27.24	0.71	0.99	3.30	D1	8
4.40	13.30	0.81	14.95	0.66	0.93	5.00	D2	
5.00	1.02	1.00	1.03	0.05	1.00	4.95	D3	
1.23	26.3	0.68	27.47	0.34	0.97	1.56	D1	10
3.77	18.13	0.78	19.75	0.74	0.95	4.46	D2	
4.05	13.95	0.86	10.62	0.43	0.99*	4.25	D3	
-	-	-	-	-	-	-	D1	12
2.57	25.00	0.63	28.90	0.74	0.86	3.23	D2	
-	-	-	-	-	-	-	D3	

\* مربوط به مشاهدات در دو سطح فشار

\* Related to observations in two pressure levels

**جدول ۵-** مقایسه نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبیاش برای دبی خروجی آبیاش تحت تأثیر قطر نازل

**Table 5-** A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit flow as affected by nozzle radius

واقعی Real		شبیه‌سازی Simulation				قطر نازل (mm)	
متوسط $(m^3 h^{-1})$	میانگین درصد خطا	d	NRMSE (%)	RMSE $(m^3 h^{-1})$	$R^2$	متوسط $(m^3 h^{-1})$	Nozzle diameter
Average	MPE					Average	
6.43	11.80	0.51	12.40	0.79	0.58	6.12	8
6.43	7.09	0.88	7.83	0.51	0.81	6.77	10
7.73	6.38	0.90	6.95	0.54	0.91	6.12	12

**جدول ۶-** مقایسه نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبیاش برای فشار خروجی آبیاش تحت تأثیر قطر نازل

**Table 6-** A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit pressure as affected by nozzle radius

واقعی Real		شبیه‌سازی Simulation				قطر نازل (mm)	
متوسط (Bar)	میانگین درصد خطا	d	NRMSE (%)	RMSE (Bar)	$R^2$	متوسط (Bar)	Nozzle diameter
Average	MPE					Average	
4.00	14.46	0.96	13.97	0.56	0.93	4.42	8
2.89	20.15	0.94	19.59	0.57	0.91	3.32	10
2.40	34.70	0.87	28.01	0.67	0.83	2.96	12

**جدول ۷-** مقایسه نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبیاش برای دبی خروجی آبیاش تحت تأثیر موقعیت پلانجر

**Table 7-** A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit flow as affected by plunger position

واقعی Real		شبیه‌سازی Simulation				موقعیت پلانجر	
متوسط $(m^3 h^{-1})$	میانگین درصد خطا	d	NRMSE (%)	RMSE $(m^3 h^{-1})$	$R^2$	متوسط $(m^3 h^{-1})$	Plunger position
Average	MPE					Average	
6.03	11.50	0.36	11.49	0.69	0.48	6.31	D1
7.11	9.00	0.82	11.38	0.70	0.82	7.09	D2
6.95	8.48	0.83	9.87	0.79	0.84	7.25	D3

با توجه به نتایج جداول ۷ و ۸ می‌توان دریافت که نرم افزار نتایج بهتری را برای موقعیت D3 شبیه‌سازی کرده است. این در حالی است که با تغییر موقعیت پلانجر از D3 به D1 عملکرد نرم افزار برای شبیه‌سازی کاهش پیدا کرده است.

بیشترین مقدار ضریب d و کمترین مقدار NRMSE در موقعیت پلانجر D3 و کمترین مقدار ضریب d و بیشترین مقدار NRMSE در موقعیت پلانجر D1 مشاهده شد. به عبارتی در زمانی که پلانجر کمتر مسیر جریان را مسدود می‌نماید، نرم افزار داده‌های واقعی‌تری شبیه‌سازی می‌کند، اما برای شرایطی که پلانجر مسیر جریان را مسدود می‌کند، نتایج شبیه‌سازی نرم افزار خوب نیست.

**جدول ۸-** مقایسه نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار Fluent با عملکرد مزرعه‌ای آبیاش برای فشار خروجی آبیاش تحت تأثیر موقعیت پلانجر

**Table 8-** A comparison between Fluent simulation results and sprinkler field performance regarding the sprinkler exit pressure as affected by plunger position

واقعی Real		شبیه‌سازی Simulation				موقعیت پلانجر	
متوسط (Bar)	میانگین درصد خطا MPE	d	NRMSE (%)	RMSE (Bar)	$R^2$	متوسط (Bar)	Plunger position
Average						Average	
1.76	37.66	0.89	33.72	0.59	0.95	2.31	D1
3.58	81.18	0.90	20.00	0.72	0.93	4.23	D2
4.43	5.33	0.97	6.92	0.31	0.92	4.48	D3

### نتیجه گیری

نتایج نشان داد استفاده از پلانجر برای کنترل دبی و شعاع پخش آب آبیاش خودکار ممکن است، اما عملکرد پلانجر و تأثیر آن بر دبی، فشار خروجی و شعاع پاشش آبیاش بسیار پیچیده می باشد. به طوری که تحت تأثیر فشار ورودی، نازل سر آبیاش و موقعیت پلانجر رفتارهای مختلفی نشان می دهد. نرم افزار Flunet قادر به شبیه سازی تغییرات دبی در اثر تغییرات فشار، قطر نازل و موقعیت پلانجر می باشد. بهترین کارایی مدل مذکور در شبیه سازی فشار و دبی خروجی آبیاش در قطر نازل ۸ میلی متر و موقعیت باز پلانجر بود.

با توجه به تمامی نتایج حاصل از تحلیل شبیه سازی، میانگین درصد خطا برای شبیه سازی فشار بیشتر از دبی به دست آمد. پیش بینی می شود که دلیل اختلاف خطای بیشتر بین فشار شبیه سازی شده و فشار اندازه گیری شده، اجرای شبیه سازی در نرم افزار Fluent با یک نقشه ساده ی آبیاش از نرم افزار Catia باشد که موانع موجود درون آبیاش، که باعث افت فشار در آبیاش می شدند، درون این نقشه Catia لحاظ نشدند. به طور کلی، نرم افزار با شرایط موجود برای شبیه سازی، نتوانسته است نتایج فشار خروجی به دست آمده از ارزیابی آبیاش را شبیه سازی کند.

### منابع

1. Armindo, R. A., T. A. Botrel, and T. C. Garzella. 2011. Flow rate sprinkler development for site-specific irrigation. *Irrigation Science* 29: 233-240.
2. Han, Y. J., A. Khalilian, T. O. Owino, H. J. Farahani, and S. Moore. 2009. Development of clemson variable-rate lateral irrigation system. *Computers and Electronics in Agriculture* 68: 108-113.
3. Kheirabi, J. 1998. Principles and methods of irrigation and water measurements. Tehran branch of Iran University Press. (In Farsi).
4. King, B. A., and D. C. Kincaid. 2004. A variable flow rate sprinkler for site-specific irrigation management. *Transactions of the ASABE* 20 (6): 765-770.
5. Mc Lean, R. K., R. Sirranjan, and G. Klassen. 2000. Spray evaporation losses from sprinkler irrigation system. *Canadian Agricultural Engineering* 42 (1): 1-15.
6. Rezaei Shahraki, A. 2010. Design, development and evaluation of a variable flow sprinkler based on sensor for irrigation system. MSc. thesis, College of Agriculture. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Farsi).
7. Willmott, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society* 63 (11):1309-1313.