



## Determination Irrigation Canal Capacity and Achievable Flexibility for Arranged Delivery

Hosein Eftekhari<sup>1</sup> | Mohammad Javad Monem<sup>2✉</sup>

1. Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, the University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. E-mail: [hossein.eftekhari@modares.ac.ir](mailto:hosseini.eftekhari@modares.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, the University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. E-mail: [Monem\\_mj@modares.ac.ir](mailto:Monem_mj@modares.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received 23 May 2023

Received in revised form

2 July 2023

Accepted 4 October 2023

Published online 12 October 2023

### ABSTRACT

Improper water distribution and delivery will cause poor performance of irrigation networks which requires improvement. Improvement of delivery method from rotational to arranged method increases farmers' flexibility in irrigation management, improves water use productivity, and decreases water losses. In addition to higher flexibility, arranged delivery does not need expensive infrastructures and could be implemented in existing networks with manual operation. One of the important problems in the design of irrigation networks is the calculation of the canal capacity which is more complex for arranged delivery methods. Clements' model is used for the determination of canal capacity for arranged delivery. In this research, the application of Clements' model in determining the capacity of two canals in the Ghazvin irrigation network and arranged delivery is investigated. The probability distribution function of water delivery to the tertiary intakes is determined. The results show that the best distribution function is the extreme value function. However, Clements' model with the assumption of normal distribution for the requests shows acceptable performance for canal capacity determination. The level of flexibility of water delivery is a function of the degree of freedom of farmers and the possibility of simultaneous water exploitation of intakes. Considering the existing canal capacity, and calculated required canal capacity the attainable flexibility in the studied canals is determined. The results showed that for the degree of freedom equal to 1, the existing capacity of both canals allows all intakes to receive water simultaneously. For an accumulative probability of 75 percent, the degree of freedom could be increased up to 35, and 59 percent.

#### Keywords:

*Arranged delivery*

*Clements' model*

*Distribution of requests*

*Flexibility*

**Cite this article:** Eftekhari, H., & Monem, M. J. (2023). Determination Irrigation Canal Capacity and Achievable Flexibility for Arranged Delivery. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (3), 801-816.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.359786.1080>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.359786.1080>

Publisher: University of Tehran Press.

## تعیین ظرفیت کانال‌های آبیاری و میزان انعطاف‌پذیری قابل دستیابی در روش توافقی

سید حسین افتخاری<sup>۱</sup> | محمد جواد منعم<sup>۲</sup> ✉

۱. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: [hossein.eftekhari@modares.ac.ir](mailto:hossein.eftekhari@modares.ac.ir)  
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: [Monem\\_mj@modares.ac.ir](mailto:Monem_mj@modares.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۲</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰</p>	<p>برنامه‌ریزی نامناسب تحویل آب موجب عملکرد ضعیف شبکه‌های آبیاری می‌شود که نیازمند بهبود است. با اصلاح روش بهره‌برداری از روش گردشی به روش توافقی ضمن افزایش قابلیت مدیریت آبیاری کشاورزان، بهره‌وری مصرف آب افزایش می‌یابد. روش تحویل آب توافقی علاوه بر ارتقای انعطاف‌پذیری و عدم نیاز به زیرساخت‌های پرهزینه، در شبکه‌های موجود که به‌صورت دستی بهره‌برداری می‌شوند قابل اجرا می‌باشد. یکی از مسائل مهم در طراحی شبکه‌ها محاسبه ظرفیت کانال‌هاست که برای کاربرد روش تحویل توافقی پیچیدگی بیش‌تری دارد. مدل کلمان برای تعیین ظرفیت برخی کانال‌های آبیاری در دنیا با روش توافقی به‌کار رفته است. در این پژوهش کاربرد مدل کلمان در تعیین ظرفیت دو کانال از شبکه آبیاری قزوین با بهره‌برداری توافقی ارزیابی شده است. ابتدا توزیع آماری درخواست آب کشاورزان در دو کانال بررسی شد. نتایج نشان داد که بهترین تابع توزیع منطبق بر درخواست‌ها توزیع مقدار حدی بوده است. با این‌حال، مدل کلمان با فرض توزیع نرمال درخواست‌ها، برای تعیین ظرفیت کانال‌ها عملکرد قابل‌قبولی داشته است. انعطاف‌پذیری روش‌های تحویل در کانال‌های آبیاری تابع درجه آزادی کشاورزان در دریافت دبی بیش‌تر و امکان آبیاری هم‌زمان آن‌هاست. براساس ظرفیت موجود کانال‌ها و ظرفیت موردنیاز مدل کلمان، میزان انعطاف‌پذیری قابل دستیابی موردبررسی قرار گرفت. در نتیجه مشخص شد در برنامه توزیع آب، با درجه آزادی یک (ظرفیت موجود آبیگرها)، امکان آبیگری هم‌زمان همه آبیگرها در هر دو کانال وجود دارد. در صورت احتمال تجمعی آبیگری ۷۵ درصد آبیگرها، درجه آزادی به میزان ۳۵ و ۵۹ درصد قابل افزایش است.</p>
<p><b>کلیدواژه‌ها:</b> انعطاف‌پذیری توزیع درخواست‌ها روش توافقی مدل کلمان</p>	

**استناد:** افتخاری، سیدحسین؛ و منعم، محمدجواد (۱۴۰۲). تعیین ظرفیت کانال‌های آبیاری و میزان انعطاف‌پذیری قابل دستیابی در روش توافقی. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۳ (۳)، ۸۰۱-۸۱۶. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.359786.1080>



## ۱- مقدمه

در کشور ایران بیش‌ترین میزان آب مصرفی به بخش کشاورزی اختصاص دارد و اغلب از طریق شبکه‌های آبیاری توزیع می‌شود. یکی از مسائلی که موجب بهره‌وری پایین و عملکرد ضعیف شبکه‌های آبیاری می‌شود مشکلات مربوط به روش‌های توزیع و تحویل آب است. سه روش اصلی در بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری روش‌های گردشی<sup>۱</sup>، برحسب تمایل<sup>۲</sup> و توافقی (برحسب درخواست)<sup>۳</sup> می‌باشد. سه عامل دبی، مدت زمان تحویل و دور آبیاری عوامل اصلی تحویل آب هستند. ثابت یا متغیر بودن این عوامل، دامنه تغییرات این سه عامل و این‌که تصمیم‌گیرنده در مورد این پارامترها چه کسی باشد، میزان انعطاف‌پذیری روش بهره‌برداری و آزادی عمل کشاورز در مدیریت آبیاری را مشخص می‌کند.

اکثر شبکه‌های آبیاری در سراسر جهان به شیوه گردشی و با یک برنامه از قبل تعیین‌شده توسط مدیر شبکه بهره‌برداری می‌شوند. در این روش کشاورز در مدیریت آبیاری آزادی عمل چندانی نداشته و بهره‌وری مصرف آب پایین است. شیوه بهره‌برداری برحسب تقاضا با سامانه‌های خودکار می‌تواند آزادی عمل کشاورز در مدیریت آبیاری را تأمین کند، اما نیازمند وجود منابع آب کافی و صرف هزینه زیاد می‌باشد. بنابراین توجه متخصصان به سمت بهبود روش‌های تحویل و توزیع جریان و استفاده از روش توزیع توافقی به جای روش گردشی معطوف شده است. این امر موجب افزایش اختیارات کشاورزان در مدیریت آبیاری، و بهبود بهره‌وری مصرف آب می‌شود. علاوه بر این روش توافقی در شبکه‌های موجود با بهره‌برداری دستی با تغییرات محدود مدیریتی قابل اجراست و نیاز به سرمایه‌گذاری زیادی ندارد (Burt, 2011). روش توزیع توافقی بسته به دامنه آزادی درخواست کشاورزان، و محدودیت‌های فیزیکی و مدیریتی سامانه به انواع متعددی از زیرروش‌ها تقسیم می‌شود. در این میان موضوعی که اهمیت بالایی دارد مسئله ظرفیت موردنیاز کانال‌ها برای پیاده‌سازی روش توافقی است. در احداث شبکه‌های جدید که با هر یک از انواع روش‌های توزیع توافقی منتخب طراحی می‌شوند، باید ظرفیت کانال‌ها متناسب با نوع روش موردنظر تعیین گردد. در شبکه‌های موجود با توجه به ظرفیت کانال‌ها و تعیین ظرفیت موردنیاز، باید امکان کاربرد هر کدام از انواع روش توافقی و انعطاف‌پذیری قابل دستیابی مشخص شود.

نظر به اهمیت روش توافقی پژوهش‌گران به جنبه‌های مختلف این روش پرداخته‌اند.

برخی پژوهش‌گران نسبت به تدوین مبانی این روش اقدام نموده و با درنظرگرفتن عوامل مؤثر بر آن دسته‌بندی‌های مختلف از آن ارائه کرده میزان انعطاف‌پذیری و اولویت زیر روش‌ها را مورد بحث قرار داده‌اند (Anwar et al., 2006; Savari and Monem, 2015; Naghaei and Monem, 2017).

با توجه به پیچیدگی عملیات بهره‌برداری در روش توافقی برای پاسخگویی به تنوع و تعدد مکانی و زمانی درخواست‌ها، برخی پژوهش‌گران با استفاده از انواع روش‌های شبیه‌سازی، بهینه‌سازی، و روش‌های هوشمند نسبت به استخراج دستورالعمل‌ها و الگوهای بهره‌برداری اقدام کرده‌اند (Shahverdi et al., 2016; Savari et al., 2016; Naghaei, 2022).

یکی از مهم‌ترین موضوعات برای توسعه روش توافقی در شبکه‌های آبیاری تعیین ظرفیت موردنیاز برای کانال‌ها است. کلمان در سال ۱۹۶۶ با استفاده از روش احتمالاتی مدلی را برای تعیین ظرفیت سامانه‌های آبیاری تحت فشار و روش برحسب تقاضا ارائه نمود. در این مدل با فرض توزیع نرمال دبی دریافتی آبیگرها، سه عامل اصلی مؤثر بر ظرفیت سامانه تعیین شد که عبارتند از درجه آزادی تحویل دبی، مدت زمان بهره‌برداری، و احتمال تجمعی آبیگری هم‌زمان آبیگرها (Lamaddalena and Sagardoy, 2000). بسیاری از پژوهش‌گران با توجه به مشابهت‌های روش توافقی در سامانه‌های روباز، با روش برحسب تقاضا در سامانه‌های تحت فشار، کاربرد مدل کلمان در کانال‌های آبیاری با روش توافقی را تأیید کرده‌اند (Clemmens, 1986; Monserrat et al., 2004; Anwar et al., 2006; Naghaei and Monem, 2017; Perez and Carrero, 2018).

Clemmens (1986) با استفاده از پارامترهای نسبی دبی و سطح تحت پوشش کانال‌ها تأثیر روش‌های مختلف تحویل آب بر ظرفیت کانال‌ها را بررسی نمود. ایشان از رابطه بدون بعد کلمان استفاده کرد و روابطی را برای تعیین ظرفیت موردنیاز کانال‌ها برای روش توافقی ارائه نمود (Clemmens, 1986).

Monserrat *et al.* (2004) با جمع‌آوری اطلاعات دو شبکه آبیاری تحت فشار در اسپانیا به بررسی مدل کلمان و فرضیات آن جهت تعیین ظرفیت شبکه‌های آبیاری پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که برخی از فرضیات مدل کلمان در این دو شبکه در عمل صادق نیست. اگرچه توزیع نرمال بر داده‌های واقعی جریان در این دو شبکه انطباق نداشت، اما با توجه به هماهنگی خوب منحنی تجمعی داده‌های واقعی جریان با منحنی تجمعی حاصل از مدل کلمان نتیجه گرفتند، کاربرد مدل کلمان در شبکه‌های برحسب تقاضا برای احتمال تجمعی بیش‌تر از ۹۰ درصد مناسب بوده و استفاده از مدل‌های پیچیده‌تر ضرورتی ندارد. ایشان اظهار داشتند که پژوهش‌های محدودی براساس اطلاعات واقعی درخواست و تحویل آب در کانال‌های آبیاری در این زمینه منتشر شده است (Monserrat *et al.*, 2004).

Anwar *et al.* (2006) ضمن ارائه شاخص به‌هنگام‌بودن نسبی برای تفکیک روش‌های تحویل توافقی، با استفاده از روش بهینه‌سازی، ظرفیت کانال‌های آبیاری را برای روش توافقی تعیین کردند و نشان دادند نتایج انطباق مناسبی با روابط پیشنهادی کلمان دارند (Anwar *et al.*, 2006). Anwar and Haq (2016) هم‌چنین برنامه‌ریزی تحویل آب را برای روش توافقی در صورت آبیگرهای غیرهمگن ارائه نمودند (Anwar and Haq, 2016).

Naghaei and Monem (2018) با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای سه پارامتر مدت زمان آبیاری، احتمال تجمعی بهره‌برداری از آبیگرها و درجه آزادی کشاورزان در مدل کلمان، ظرفیت موردنیاز کانال عقیلی شرقی را برای روش‌های مختلف توزیع آب تعیین کردند. ایشان نشان دادند که اگرچه مدل کلمان برای تعیین ظرفیت سامانه‌های تحت فشار و روش بر مبنای تقاضا ارائه شده است، اما با تغییر مقادیر سه پارامتر موردبررسی، می‌توان از این مدل برای تعیین ظرفیت کانال‌های آبیاری با شیوه‌گردشی و برحسب درخواست نیز استفاده کرد.

Naghaei and Monem (2019) با استفاده از مدل کلمان حساسیت ظرفیت کانال عقیلی شرقی را نسبت به پارامترهای درجه آزادی تحویل دبی به کشاورزان، مدت زمان بهره‌برداری از شبکه و احتمال تجمعی بهره‌برداری از آبیگرها بررسی نمودند. نتایج نشان داد برای مقادیر درجه آزادی تحویل دبی بین شش تا هشت، مدت زمان بهره‌برداری از شبکه می‌تواند تا چهار ساعت کاهش یابد و برای مقادیر درجه آزادی تحویل دبی یک تا سه، حداقل مدت زمان بهره‌برداری از شبکه می‌تواند ۱۶ ساعت باشد. با توجه به ظرفیت فعلی کانال عقیلی شرقی مناسب‌ترین درجه آزادی تحویل دبی به کشاورزان جهت افزایش انعطاف‌پذیری متناسب با روش بهره‌برداری توافقی یک و دو می‌باشد (Naghaei and Monem, 2019).

Monserrat *et al.* (2020) در پژوهشی اقدام به ارائه مدل توسعه‌یافته کلمان به‌منظور تعیین ظرفیت کانال‌های درجه دو نمودند. آن‌ها برای این بررسی از اطلاعات دوره اوج مصرف چهار سال متوالی کانالی در کشور اسپانیا استفاده کردند. ایشان نشان دادند که داده‌های واقعی جریان در این کانال با توزیع نرمال انطباق دارد و از مدل کلمان برای تعیین ظرفیت موردنیاز می‌توان استفاده نمود (Monserrat *et al.*, 2020).

در جمع‌بندی کلی از سوابق مطالعاتی می‌توان گفت، در مطالعات انجام‌شده به‌منظور اعمال مدیریت آبیاری بهتر توسط کشاورزان، توصیه‌شده انعطاف‌پذیری در شبکه‌های موجود که بیش‌تر با روش گردشی بهره‌برداری می‌شوند با جایگزینی روش توافقی افزایش یابد. نکته مهم آن است که میزان تأثیر افزایش انعطاف‌پذیری در روش‌های توزیع جریان روی ظرفیت کانال موردبررسی قرار بگیرد. به‌طور کلی امکان کاربرد مدل کلمان برای تعیین ظرفیت کانال‌ها با روش

تحویل توافقی توسط پژوهش‌گران مختلف تأیید شده است، اما پژوهش‌های محدودی براساس اطلاعات واقعی شبکه‌های آبیاری انجام شده است. فرضیات این مدل در تعدادی از کانال‌ها در اسپانیا مورد ارزیابی قرار گرفته. نتایج نشان داده که اگرچه فرض توزیع نرمال دبی‌های تحویلی در برخی کانال‌ها صادق نبوده، اما منحنی تجمعی داده‌های واقعی جریان و منحنی تجمعی حاصل از مدل کلمان به‌ویژه در احتمالات بالای ۹۰ درصد بسیار نزدیک بوده است. خطای ظرفیت به‌دست‌آمده از این مدل با ظرفیت موجود محدود بوده و پیشنهاد شده که می‌توان از این مدل در طراحی کانال‌های مشابه استفاده نمود. نمونه این پژوهش‌ها در شبکه‌های آبیاری در ایران تاکنون انجام نشده و برای افزایش انعطاف‌پذیری و توسعه روش توزیع و تحویل توافقی در شبکه‌ها در ایران، انجام و گسترش این پژوهش‌ها ضرورت دارد. این پژوهش با هدف بررسی امکان توسعه روش توافقی در کانال‌های شبکه آبیاری قزوین براساس اطلاعات واقعی شبکه انجام شده است. برای این منظور ابتدا الگوی دبی‌های تحویلی به آبگیرهای درجه سه در دو کانال شبکه تعیین شد، سپس با استفاده از مدل توسعه‌یافته کلمان ظرفیت مورد نیاز کانال‌های درجه دو مشخص گردید. با توجه به ظرفیت موجود کانال‌ها در مقایسه با ظرفیت مورد نیاز در مدل کلمان، امکان کاربرد روش توافقی در شبکه قزوین و میزان انعطاف‌پذیری قابل دستیابی در بهره‌برداری هم‌زمان آبگیرها و میزان افزایش آزادی عمل کشاورزان تعیین شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- معرفی مدل کلمان

در شبکه‌هایی که با روش برحسب تمایل بهره‌برداری می‌شوند، ظرفیت آبگیرها بالاتر از دبی نرمال ۲۴ ساعته (براساس هیدرومدول) در نظر گرفته می‌شود، بنابراین کشاورزان می‌توانند با دبی بیش‌تر در مدت زمانی کم‌تر از ۲۴ ساعت آبیاری را انجام دهند. در این شرایط آبیاری هم‌زمان تمام آبگیرها از احتمال کمی برخوردار است. در نتیجه منطقی نیست که ظرفیت کانال را برابر با مجموع دبی همه آبگیرها در نظر گرفت. بنابراین، کلمان در سال ۱۹۶۶ مدلی را براساس یک روش احتمالاتی برای محاسبه ظرفیت سامانه‌های آبیاری برای روش برحسب تمایل ارائه داد. طبق این مدل در مجموعه‌ای متشکل از R آبگیر، تعداد آبگیرهایی که به‌طور هم‌زمان در حال بهره‌برداری هستند، به‌عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود که از توزیع دوجمله‌ای تبعیت می‌کند. با افزایش تعداد R، این توزیع به توزیع نرمال میل می‌کند و با در نظر گرفتن میزان احتمال تجمعی بهره‌برداری آبگیرها می‌توان ظرفیت کانال را طبق رابطه یک محاسبه نمود (Lamaddalena and Sagardoy, 2000).

$$Q = \sum_{i=1}^R p_i d_i + U_{(pq)} \sqrt{\sum_{i=1}^R p_i q_i d_i^2} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، Q ظرفیت کانال در بازه مورد نظر برای تأمین آب R آبگیر پایین دست (لیتر بر ثانیه)، R تعداد آبگیرها در پایین دست بازه مورد نظر،  $d_i$  ظرفیت آبگیرها (لیتر بر ثانیه)،  $p_i$  احتمال مقدماتی بهره‌برداری از هر آبگیر،  $q_i$  احتمال بسته بودن هر آبگیر، pq احتمال تجمعی بهره‌برداری آبگیرها و  $U(pq)$  متغیر نرمال استاندارد می‌باشد که در تناظر با مقدار pq به دست می‌آید.

مقدار پارامتر pq متناسب با روش بهره‌برداری شبکه می‌باشد در صورت درجه آزادی بالا (در حدود چهار)، در روش بهره‌برداری برحسب تمایل، احتمال تجمعی بهره‌برداری آبگیرها در حدود ۹۵ درصد توصیه شده است. با توجه به میزان انعطاف‌پذیری کم‌تر برای روش‌های توافقی این مقدار بین ۷۰ تا ۸۰ درصد و برای روش گردشی ۵۰ درصد پیشنهاد شده است (Naghaei and Monem, 2018).

مدل کلمان دارای سه فرض است. فرض اول بیان می‌کند که مدت زمان آبیاری کشاورزان می‌تواند در زمانی کمتر از ۲۴ ساعت انجام شود که این پارامتر با توجه به ظرفیت آبیگر محاسبه می‌شود. فرض دوم اظهار می‌کند که ترجیحی برای بهره‌برداری آبیگرها در یک زمان خاص در طول روز وجود ندارد. فرض سوم اظهار می‌کند که بهره‌برداری از آبیگرها به صورت مستقل از یکدیگر و تصادفی انجام می‌شود (Danayi fakhr et al., 2003).

## ۲-۲- استفاده از مدل کلمان برای شبکه‌های با روش توزیع توافقی

مدل کلمان یکی از روش‌های موفق جهت تعیین ظرفیت سامانه‌های آبیاری با روش بهره‌برداری برحسب تمایل است، که با توجه به دلایل زیر می‌توان از آن جهت تعیین ظرفیت کانال‌ها و آبیگر درجه سه در شبکه‌های با روش توافقی نیز استفاده نمود.

در شبکه‌های با روش توافقی نیز می‌توان با افزایش انعطاف‌پذیری آبیاری را در زمانی کمتر از ۲۴ ساعت انجام داد. بنابر این فرض اول مدل کلمان در روش توافقی نیز معتبر است. در مورد فرض دوم و سوم مدل کلمان به دلیل این که در روش توافقی، مدیر شبکه به عنوان تصمیم‌گیرنده نهایی وجود دارد، کنترل بیش‌تری روی عوامل تحویل اعمال می‌شود. لذا با اعمال مدیریت مسئول شبکه عملاً ترجیح آبیاری در زمان‌های خاص برای کشاورزان مختلف منتفی می‌شود. همچنین با توجه به این که هر کشاورز درخواست‌های خود را با توجه به وضعیت و نیاز مزرعه اعلام می‌کند و مدیر شبکه آن را کنترل می‌کند، فرض بهره‌برداری آبیگرها به صورت مستقل و تصادفی معتبر است. بنابراین فرض دوم و سوم نیز برای شبکه‌های با روش توافقی صادق می‌باشد (Naghaei and Monem, 2017).

با توجه به این که در هر روش بهره‌برداری، هدف اصلی تأمین نیاز آبی گیاه است و روش بهره‌برداری بر روی میزان نیاز آبی گیاه تأثیری ندارد، بنابراین می‌توان گفت تعداد درخواست‌های هم‌زمان در روش توافقی و برحسب تقاضا یکسان است. بنابراین، احتمال بهره‌برداری از هر آبیگر در روش توافقی مشابه آنچه برای روش برحسب تقاضا گفته شد، قابل محاسبه است. تفاوت شبکه‌های با روش برحسب تقاضا و توافقی میزان انعطاف‌پذیری و آزادی عمل کشاورزان می‌باشد، که در مدل کلمان با تغییر مقدار پارامترهای درجه آزادی کشاورزان ضریب بهره‌برداری از شبکه و احتمال تجمعی بهره‌برداری از آبیگرها می‌توان این مدل را برای شبکه‌های با روش توافقی نیز به کار برد.

با توجه به نکات فوق و به دلیل سازگاری فرضیات مدل کلمان با شرایط بهره‌برداری توافقی می‌توان با اعمال یکسری تغییرات بر روی پارامترهای این مدل که در تعیین ظرفیت مؤثر هستند، از این مدل جهت تعیین ظرفیت کانال‌های درجه سه در شبکه‌هایی که به روش توافقی بهره‌برداری می‌شوند استفاده نمود. به دلیل تفاوت شرایط توزیع جریان در واحد درجه سه نسبت به کانال‌های درجه دو و دائمی بودن جریان در این کانال‌ها رابطه توسعه‌یافته کلمان جهت تعیین ظرفیت در این کانال‌ها پیشنهاد شده است.

## ۲-۳- معرفی مدل توسعه‌یافته کلمان برای کانال‌های درجه دو

درون واحدهای درجه سه تحویل جریان به آبیگرهای درجه چهار مشابه سیستم تحت فشار بوده و جریان بین مزارع مختلف به صورت نوبتی توزیع می‌شود و این امکان وجود دارد که حجم موردنیاز آبیگرها با دبی بالاتر و در مدت زمان کمتر از ۲۴ ساعت به آن‌ها تحویل شود، بنابراین به طور مستقیم می‌توان از مدل کلمان جهت تعیین ظرفیت کانال‌های درجه سه استفاده کرد. اما در کانال‌های درجه دو جریان بیش‌تر به صورت دائمی برقرار بوده و تحویل جریان به آبیگر واحد درجه سه به صورت ۲۴ ساعته انجام می‌شود. اما میزان دبی تحویلی به آبیگرهای واحد درجه سه متناسب با تغییر

درخواست‌ها در طول دوره تحویل متغیر است، لذا باید رابطه کلمان را برای کانال‌های درجه دو توسعه داد. در کانال‌های درجه دو، هر آبیگر واحد درجه سه، خود از تجمع مشارکت‌هایی که در سطح پایین‌تری قرار دارند تشکیل شده است. با توجه به برقراری جریان دائمی در کانال درجه دو و تحویل ۲۴ ساعته جریان به آبیگر واحدهای درجه سه احتمال بسته‌بودن آن در دوره حداکثر مصرف منتفی است، اما ممکن است دبی درخواستی و تحویلی آن تغییر کند. بنابراین، عملاً پارامتر احتمال مقدماتی بهره‌برداری از آبیگرها برای واحدهای درجه سه مفهوم متفاوتی نسبت به مدل اصلی کلمان دارد. لذا برای محاسبه ظرفیت کانال‌های درجه دو از مدل توسعه‌یافته کلمان استفاده می‌شود.

با پذیرش فرضیات مدل کلمان برای کانال درجه دو، رابطه (۱) را می‌توان به صورت رابطه (۲) برای آبیگر کانال‌های درجه دو بیان کرد. با در نظر گرفتن روابط (۳) و (۴) برای واحدهای درجه سه، مدل توسعه‌یافته کلمان برای تعیین ظرفیت کانال درجه دو به صورت رابطه (۵) به دست می‌آید (Monserrat et al., 2020).

$$Q = \text{Mean} + U_{(pq)} \sqrt{\text{Variance}} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{Mean} = \sum_{i=1}^R \bar{Q}_i \quad \text{رابطه ۳}$$

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^R \text{Var}(Q_i)} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$Q = \sum_{i=1}^R \bar{Q}_i + U_{(pq)} \sqrt{\sum_{i=1}^R \text{Var}(Q_i)} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این روابط، R تعداد آبیگرهای واحد درجه سه،  $\bar{Q}_i$  و  $\text{Var}(Q_i)$  به ترتیب میانگین و واریانس دبی‌های درخواستی آبیگرهای واحد درجه سه می‌باشد.

## ۲-۴- معرفی شبکه قزوین و داده‌های مورد استفاده

شبکه آبیاری قزوین از شبکه‌های مدرن و البته قدیمی کشور است و مساحت خالص اراضی تحت پوشش آن ۶۰ هزار هکتار است. روش بهره‌برداری شبکه آبیاری قزوین به صورت توافقی بوده و تحویل جریان به آبیگرهای درجه سه به صورت حجمی و به مدت ۲۴ ساعت انجام می‌شود، در شبکه قزوین برای هر کانال درجه سه یک شکل آبریز ایجاد شده است و توزیع جریان بین درخواست‌کنندگان در هر شکل با توافقات داخلی صورت می‌گیرد. مبنای تحویل جریان در این شبکه برگه طرح کشت می‌باشد و براساس آن، سهمیه ماهانه هر انجمن با توجه به آب موردنیاز محصولات الگوی کشت محاسبه شده و به همان میزان در اختیار آن‌ها قرار می‌گیرد. نحوه تحویل و توزیع جریان در این شبکه به این صورت است که ابتدا کشاورزان با توجه به سهمیه ماهانه موجود، مقدار آب موردنیاز خود را به نمایندگان شکل‌ها اعلام می‌کنند، برای ارائه درخواست‌ها روز معینی وجود نداشته و تنها شرایط موجود، وجود سهمیه ماهانه و کافی بودن ظرفیت دریچه آبیگرهاست. نمایندگان شکل‌ها بعد از جمع‌آوری تمامی درخواست‌ها برای خرید نقدی آب به دفاتر فروش آب مراجعه می‌کنند. سپس تمامی درخواست‌های نمایندگان از طرف دفاتر فروش به دفتر توزیع آب اعلام می‌شود و مدیر توزیع آب در شبکه با توجه به متوسط جریان روزانه هر کانال درجه دو و مقدار درخواست‌ها مقدار نهایی آب ورودی به کانال‌ها را به دفتر فروش اعلام می‌کند. فروش آب در دفاتر فروش تا حدود ساعت ۱۱ طول می‌کشد. پس از انجام مراحل سفارش و خرید آب و تهیه لیست سفارش، برنامه روزانه تحویل آب درخواستی به نمایندگان از طرف دفاتر فروش در اختیار میراب‌های کانال‌های درجه دو قرار داده می‌شود و میراب‌ها حدود ساعت ۱۲ ظهر در حضور نمایندگان شکل‌ها تنظیمات دریچه‌ها جهت تحویل آب به نمایندگان را انجام می‌دهند.

برای انجام این پژوهش، کانال‌های L1 و L2 از شبکه قزوین به دلیل برخورداری از طول مناسب، تعداد مناسب آبیگرها و تشکل‌های کاملاً سازمان یافته آبران، اطلاعات مناسب قابل دسترس و اطمینان از کیفیت اطلاعات انتخاب شدند. کانال‌های درجه دو، L1 و L2 به ترتیب دارای ۱۱ و ۱۸ آبیگر درجه سه بوده و اطلاعات میزان تحویل روزانه جریان به آبیگرهای واحدهای درجه سه و میزان جریان روزانه در سراب این کانال‌ها در ماه اوج مصرف (خردادماه) و دوره موردبررسی که چهار سال از ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ می‌باشد، جمع‌آوری شده و مورد استفاده قرار گرفت. مراحل و فرایند انجام پژوهش در شکل (۱) نشان داده شده است.

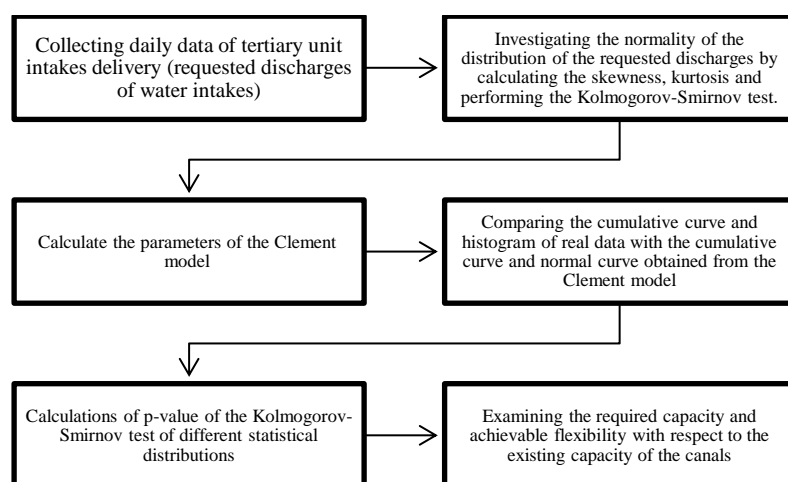


Figure 1. Steps and the flowchart of the research

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی جریان روزانه سراب کانال درجه دو در دوره موردبررسی

اطلاعات مربوط به جریان روزانه ورودی کانال‌های L1 و L2 در ماه خرداد در دوره موردبررسی به ترتیب در شکل‌های (۲) و (۳) نمایش داده شده است. تنوع درخواست‌های روزانه برای سال‌های مختلف، برای هر دو کانال مشهود است که نشان‌دهنده رفتار توزیع و تحویل آب به‌روشن توافقی در این شبکه است.

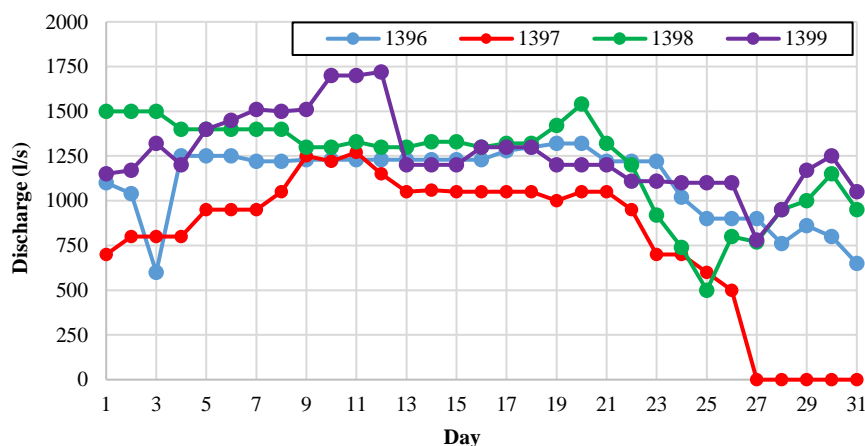


Figure 2. Daily delivered discharge at the head of the secondary canal L1



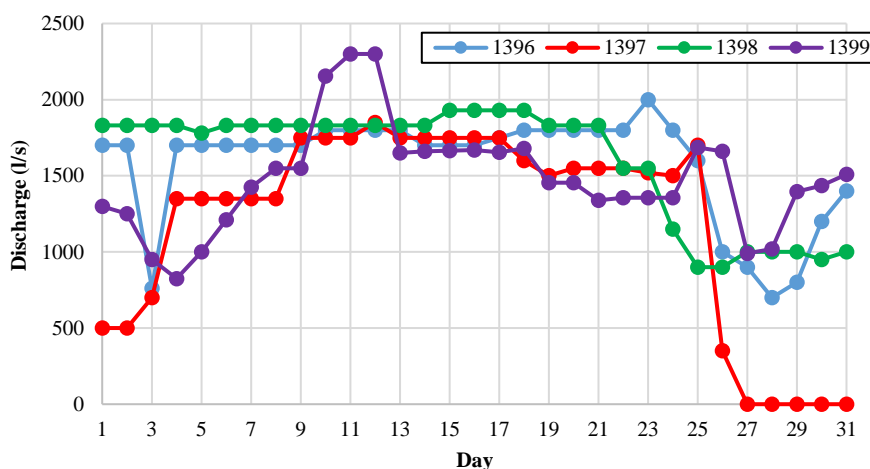


Figure 3. Daily delivered discharge at the head of the secondary canal L2

همان‌طور که در شکل‌های (۲) و (۳) قابل مشاهده است در روزهای ۲۷ تا ۳۱ خردادماه سال ۱۳۹۷ به‌علت مشکلات موجود در شبکه جریان در سراسر شبکه قطع بوده است، بنابراین هرچند در این روزها جریان‌های تحویلی به آبگیرها برابر با صفر بوده است اما به این معنی نیست که در این روزها درخواستی از طرف کشاورزان وجود نداشته است. در نتیجه به‌منظور کاهش خطا در محاسبات این پنج روز که جریان در شبکه قطع بوده از تحلیل خارج شدند.

### ۳-۲- محاسبه پارامترهای مدل توسعه‌یافته کلمان

مدل توسعه‌یافته کلمان بیان می‌دارد میزان دبی در کانال درجه دو یک متغیر نرمال است که با مقدار میانگین و انحراف‌معیار آن مشخص می‌شود که خود تابعی از جریان‌های تحویلی به آبگیرهای واحد درجه سه می‌باشد. ابتدا میانگین و واریانس جریان‌های تحویلی به هر آبگیر واحد درجه سه در دوره موردبررسی محاسبه شد و طبق روابط (۳) و (۴) در مدل توسعه‌یافته کلمان مقدار میانگین و انحراف‌معیار آبگیر کانال‌های درجه دو L1 و L2 تعیین گردید (جدول ۱).

Table 1. Statistics of Clément's estimated distribution of discharges

Canal	Mean(l/s)	Standard Dev(l/s)
L1	1144.79	156.43
L2	1525.34	240.3

### ۳-۳- بررسی نوع توزیع درخواست‌ها

به‌منظور بررسی فرضیه مدل کلمان در خصوص نرمال‌بودن توزیع جریان در کانال، پارامترهای آماری برای داده‌های جریان سراب کانال‌ها محاسبه شد که نتایج در جدول (۲) ارائه شده است. طبق این نتایج مقدار چولگی در هر دو کانال منفی می‌باشد که نشان‌دهنده این است که داده‌ها نسبت به حالت نرمال به مقدار کمی به سمت راست و دبی‌های بیش‌تر متمایل هستند. همچنین به لحاظ کشیدگی داده‌ها، اطلاعات کانال L1 نرمال تلقی می‌شود و اطلاعات کانال L2 به مقدار خیلی کم نسبت به حالت نرمال کشیده‌تر است.

Table 2. Main statistics of the discharge at the canal intake

Canal	Mean (l/s)	Standard Dev (l/s)	Coef. Var. (%)	Skewness	Kurtosis
L1	1144.79	249.29	21.78	-0.39	0.08
L2	1525.34	381.49	25.01	-0.95	0.51

برای مقایسه بصری توزیع داده‌های جریان در سراب کانال‌ها در دوره مورد بررسی، منحنی نرمال حاصل از مدل توسعه‌یافته کلمان در شکل‌های (۴) و (۵) نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها قابل مشاهده است در کانال L1 توزیع داده‌های واقعی به منحنی کلمان نزدیک است و در کانال L2 توزیع داده‌های واقعی کمی به راست تمایل دارد.

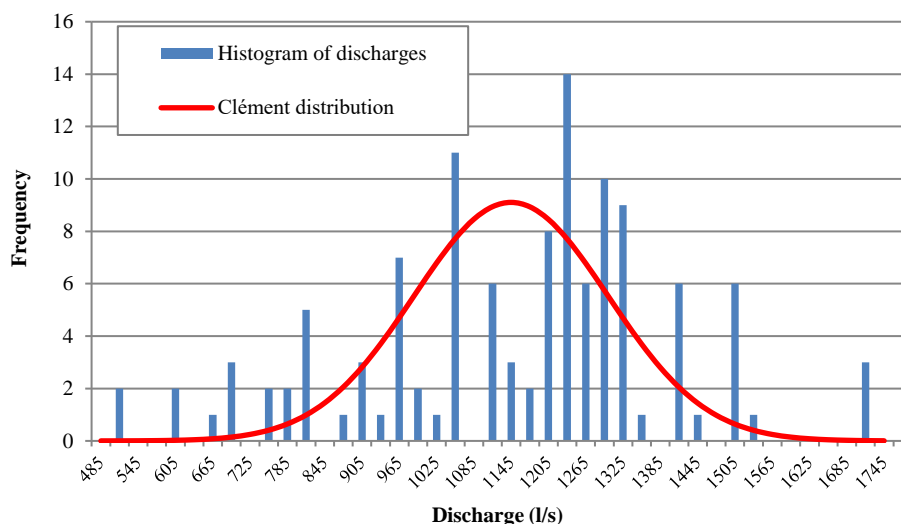


Figure 4. Histogram of real data and the distribution obtained with Clément's formula at the L1 canal intake

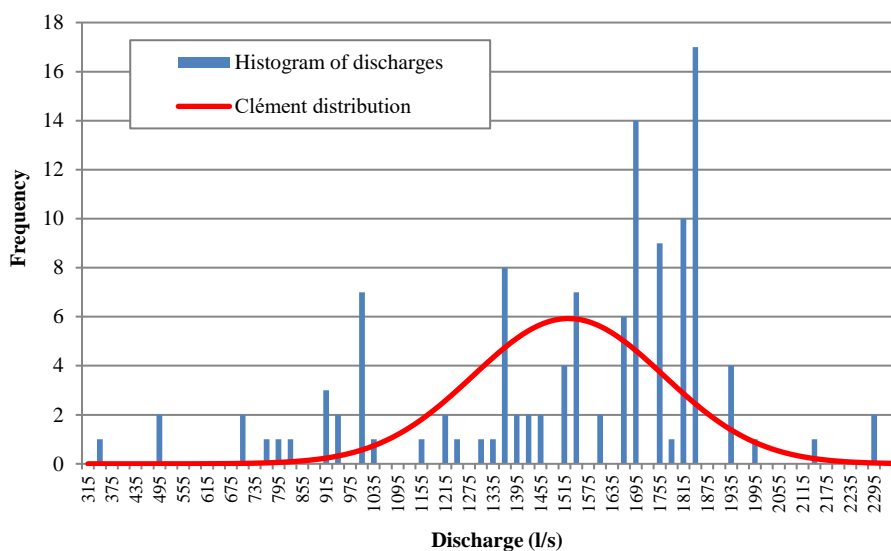


Figure 5. Histogram of real data and the distribution obtained with Clément's formula at the L2 canal intake

برای بررسی امکان استفاده از مدل توسعه‌یافته کلمان لازم است مقادیر ظرفیت به‌دست‌آمده از مدل کلمان براساس احتمال تجمعی بهره‌برداری آبیگرها با مقادیر واقعی مقایسه شود. لذا منحنی توریع تجمعی حاصل از مدل کلمان در کنار منحنی تجمعی داده‌های جریان در دوره مورد بررسی برای دو کانال L1 و L2 رسم گردید که در شکل‌های (۶) و (۷) نمایش داده شده است.

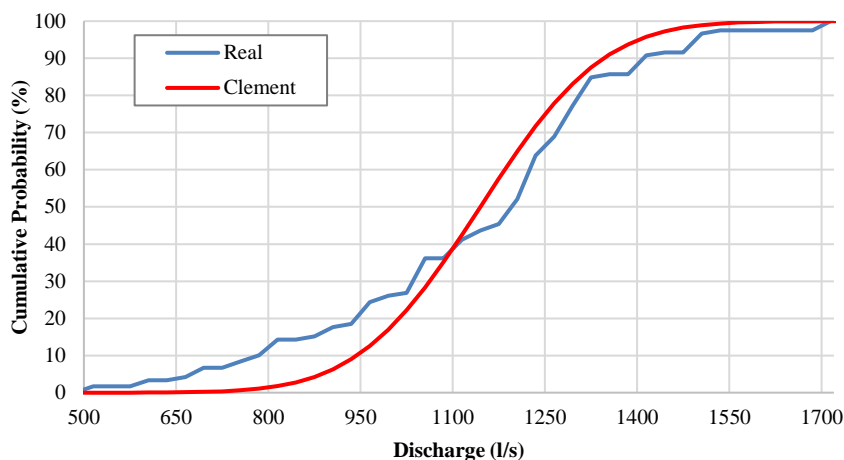


Figure 6. The cumulative probability of the real data and those obtained with Clément's formula at the L1 canal intake

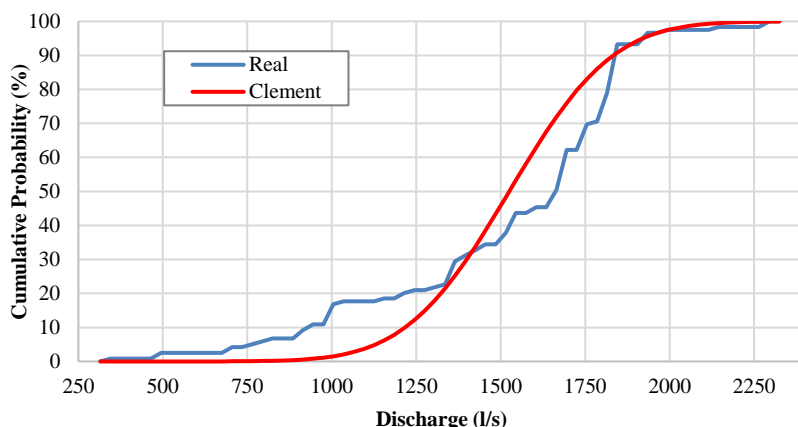


Figure 7. The cumulative probability of the real data and those obtained with Clément's formula at the L2 canal intake

همان‌طور که در شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌شود، در هر دو کانال هماهنگی خوبی بین منحنی تجمعی داده‌های واقعی و توزیع تجمعی نرمال حاصل از مدل توسعه‌یافته کلمان بخصوص برای مقادیر بالای احتمال تجمعی وجود دارد که علت آن برابر بودن مقدار حداکثر در هر دو منحنی است. بنابراین هرچند هیستوگرام داده‌های واقعی و منحنی نرمال کلمان تفاوت‌هایی با هم دارند اما منحنی‌های تجمعی به‌ویژه برای احتمال‌های تجمعی بالا مشابه هستند، زیرا مجموع احتمال‌ها اختلاف‌های مشاهده‌شده را جبران می‌کند. این نتایج با نتایج به‌دست‌آمده توسط Monserrat *et al.* (2020) در یک کانال درجه دو از کانال آراگون در شبکه کاتالونیای اسپانیا مشابهت دارد (Monserrat *et al.*, 2020). نکته دیگری که در بررسی منحنی‌های تجمعی و جدول‌های (۱) و (۲) جالب توجه است این است که مقادیر محاسباتی انحراف معیار در مدل توسعه‌یافته کلمان در هر دو کانال نسبت به مقادیر انحراف معیار داده‌های واقعی کمتر است. به‌دلیل کم‌تر بودن انحراف معیار در مدل کلمان، منحنی تجمعی مدل کلمان حول میانگین تمرکز بیشتری دارد و منحنی تجمعی داده‌های واقعی نسبت به میانگین پراکنده‌تر است. مشاهده می‌شود که برای دبی‌های کمتر از میانگین در یک دبی یکسان، احتمال تجمعی داده‌های واقعی بیشتر از منحنی کلمان است و برای دبی‌های بیشتر از میانگین در یک دبی یکسان، احتمال تجمعی داده‌های واقعی کمتر از منحنی کلمان است.

با استفاده از آزمون نیکویی برازش کولموگراف-اسمیرنف بررسی میزان مطابقت ۱۵ توزیع آماری با داده‌های واقعی جریان در سطح معنی‌داری پنج درصد صورت گرفت و نتایج شش نمونه از بهترین توزیع‌های آماری انطباق یافته با داده‌ها در این دو کانال براساس معیار P-value در جدول (۳) ارائه شده است. بر این اساس بهترین توزیع انطباق یافته در کانال‌های L1 و L2 توزیع حدی (Extreme value) می‌باشد و توزیع نرمال بین شش نمونه از بهترین توزیع‌ها قرار دارد.

**Table 3.** The result of the Kolmogorov-Smirnov test in fitting the different statistical distributions to canal data

Canal					
L1			L2		
Rank	Distribution	pvalue	Rank	Distribution	pvalue
1	Extreme value	0.097	1	Extreme value	0.0252
2	Weibull	0.0938	2	Logistic	0.0082
3	Generalized extreme value	0.07	3	Tlocation scale	0.0062
4	Logistic	0.0589	4	Generalized extreme value	0.0047
5	Tlocation scale	0.0254	5	Weibull	0.003
6	Normal	0.0242	6	Normal	0.0012

در پژوهشی مشابه، Perez sanchez *et al.* (2018) در شبکه‌ای در اسپانیا نشان دادند توزیع حدی تعمیم یافته همواره یکی از سه توزیع برتر برازش یافته بر داده‌های جریان در ماه‌های مختلف بوده است (Perez sanchez *et al.*, 2018).

### ۳-۴- تعیین ظرفیت کانال‌های L1 و L2 طبق مدل توسعه یافته کلمان در روش توافقی

در این بخش با استفاده از مدل توسعه یافته کلمان (رابطه ۵)، پارامترهای محاسبه شده کانال‌های L1 و L2 (جدول ۱) و مقادیر متغیر نرمال استاندارد در محدوده روش توافقی (۷۰ تا ۸۰ درصد)، ظرفیت مورد نیاز کانال‌ها برای مقادیر مختلف احتمال تجمعی آبگیرها محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه (۶) میزان خطای نسبی هر یک از دبی‌های محاسباتی کلمان نسبت به دبی واقعی محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است.

$$\text{رابطه ۶) درصد خطای نسبی} = \frac{(Q_{\text{element}} - Q_{\text{Real}})}{(Q_{\text{Real}})} \times 100$$

**Table 4.** The relative error of the Clement calculated discharge and the actual discharge of canals L1 and L2

Pq%	Canal					
	L1			L2		
	Qreal(l/s)	Qclement(l/s)	Relative error (%)	Qreal (l/s)	Qclement (l/s)	Relative error (%)
70	1269	1226.92	-3.32	1764	1651.49	-6.38
71	1272.5	1231.61	-3.21	1786.5	1658.7	-7.15
72	1276	1236.30	-3.11	1790	1665.91	-6.93
73	1279.5	1240.99	-3.01	1793.5	1673.12	-6.71
74	1283	1245.69	-2.91	1797	1680.33	-6.49
75	1286.75	1250.38	-2.83	1801	1687.54	-6.3
76	1290.25	1255.39	-2.7	1804.5	1695.23	-6.06
77	1294	1260.39	-2.6	1808	1702.92	-5.81
78	1297.75	1265.4	-2.49	1711.5	1710.61	-5.57
79	1301.75	1271.03	-2.36	1815	1719.26	-5.28
80	1305.5	1276.35	-2.23	1817	1727.43	-4.93

همان‌طور که از نتایج جدول (۴) مشاهده می‌شود هماهنگی خوبی بین دبی‌های محاسباتی کلمان و مقادیر واقعی جریان در محدوده روش برحسب درخواست در کانال‌های L1 و L2 وجود دارد، زیرا حداکثر خطای نسبی در کانال L1

برابر با ۳/۳۲ درصد و در کانال L2 برابر با ۷/۱۵ درصد می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت این مدل در تعیین ظرفیت کانال‌های درجه دو برای روش توافقی در شبکه قزوین مناسب می‌باشد. با مقایسه این نتایج با ظرفیت موجود کانال‌ها میتوان میزان انعطاف‌پذیری قابل دستیابی در شبکه قزوین را تعیین نمود. همچنین برای طراحی و تعیین ظرفیت کانال‌های جدید در شرایطی مشابه با شرایط شبکه قزوین می‌توان از این مدل استفاده کرد.

در پژوهشی مشابه، *Monserat et al.* (2004) میزان دبی واقعی و نتایج حاصل از مدل کلمان را مقایسه نمودند و نشان دادند که مدل کلمان عملکرد مناسبی در تعیین دبی برای مقادیر مختلف احتمال تجمعی داشته و حداکثر میزان خطای نسبی محاسبه دبی ۹/۴ درصد بوده است (*Monserat et al.*, 2004).

### ۳-۵- بررسی میزان انعطاف‌پذیری قابل دستیابی

در این بخش با توجه به ظرفیت موجود کانال‌ها، به بررسی میزان انعطاف‌پذیری قابل دستیابی برای پارامترهای احتمال تجمعی بهره‌برداری آبیگرها (میزان احتمال بهره‌برداری هم‌زمان آبیگرها)  $U(pq)$  و درجه آزادی کشاورزان در دریافت دبی (eh) پرداخته می‌شود.

با توجه به ظرفیت فعلی کانال‌ها و آبیگرها، با در نظر گرفتن احتمال تجمعی بهره‌برداری آبیگرها در محدوده روش برحسب درخواست (۷۵ درصد)، دبی محاسبه شده با مدل توسعه یافته کلمان در هر دو کانال کمتر از ظرفیت موجود است (جدول ۵). به این معنی که احتمال تجمعی آبیگری آبیگرها تا ۷۵ درصد عامل محدودکننده انعطاف‌پذیری در کانال‌ها نیست. برای بررسی میزان انعطاف قابل دستیابی در بهره‌برداری هم‌زمان آبیگرها، پارامتر احتمال تجمعی بهره‌برداری آبیگرها افزایش داده شد، طبق این بررسی، در هر دو کانال بدون تخطی از ظرفیت موجود کانال‌ها میزان این پارامتر تا ۹۹ درصد قابل افزایش می‌باشد که در آن صورت ظرفیت محاسباتی در کانال‌های L1 و L2 به ترتیب برابر با ۱۶۹۸/۶ و ۲۴۱۶/۸ لیتر بر ثانیه می‌باشد که در هر دو کانال از ظرفیت موجود کمتر است.

Table 5. Achievable flexibility in terms of the cumulative probability of simultaneous intakes

Canal	Statistics of Clément's distribution		eh	Cumulative probability (%)	U(pq)	Qclement (l/s)	Canal capacity (l/s)
	$\mu$ (l/s)	$\sigma$ (l/s)					
L1	1144.79	156.43	1	75	0.675	1250.4	1700
			1	99.98	3.54	1698.6	
L2	1525.34	240.30	1	75	0.675	1687.5	2700
			1	99.99	3.71	2416.8	

طبق جدول (۵) این نتیجه به دست می‌آید که با توجه به ظرفیت فعلی کانال‌های L1 و L2 و شرایط موجود، می‌توان بدون این که جریان موردنیاز از ظرفیت کانال تجاوز کند، همه آبیگرها را به طور هم‌زمان بهره‌برداری کرد. تفاوت میان ظرفیت موجود کانال و ظرفیت موردنیاز در مدل کلمان برای احتمال تجمعی آبیگری همه آبیگرها برای کانال L2 حدود ۲۸۰ لیتر بر ثانیه است. این امر نشان می‌دهد که چنانچه در این کانال همه آبیگرها هم‌زمان آبیگری نمایند باز ۲۸۰ لیتر بر ثانیه از ظرفیت کانال بی استفاده مانده است. این وضعیت برای این کانال با ظرفیت بالا اتفاق افتاده است، درحالی که برای کانال L1 این گونه نیست. در ظاهر ممکن است به نظر برسد که کانال L2 بیش از ظرفیت موردنیاز طراحی شده است، درحالی که این تفاوت ناشی از تغییر الگوی درخواست و تحویل در سال‌های اخیر به دلیل کمبود آب نسبت به سال‌های اولیه طراحی کانال بوده که در کانال‌های با ظرفیت بالا بیش تر خود را نشان داده است.

به منظور بررسی میزان انعطاف پذیری قابل دستیابی از جنبه درجه آزادی تحویل دبی (eh)، مقادیر مختلف احتمال تجمعی بهره برداری آبیگرها متناسب با روش های تحویل و توزیع جریان ۷۵ درصد در نظر گرفته شد و درجه آزادی افزایش داده شد. در کانال L1، با احتمال تجمعی بهره برداری هم زمان آبیگرها برابر با ۷۵ درصد، بدون تخطی از ظرفیت موجود کانال، میزان پارامتر eh را تا مقدار ۱/۳۵۹ می توان افزایش داد (جدول ۶). به این معنی که در صورت احتمال تجمعی بهره برداری ۷۵ درصد، امکان افزایش ظرفیت آبیگرها به طور متوسط تا ۳۵ درصد وجود دارد و واحدهای درجه سه می توانند به طور متوسط تا ۳۵ درصد دبی بیش تری درخواست نمایند بدون آنکه از ظرفیت موجود کانال تجاوز شود. در کانال L2 نیز با احتمال تجمعی آبیگرها به میزان ۷۵ درصد، پارامتر eh تا مقدار ۱/۵۹۹ قابل افزایش است. یعنی با احتمال تجمعی آبیگری ۷۵ درصد، ظرفیت آبیگرها به طور متوسط تا ۵۹ درصد قابل افزایش است و آبیگرها می توانند به طور متوسط تا ۵۹ درصد دبی بیش تری درخواست نمایند. در این کانال در صورت احتمال تجمعی ۹۹/۹۹ درصد و بهره برداری هم زمان تمام آبیگرها، درجه آزادی تا مقدار ۱/۱۱۷ قابل افزایش است. بدیهی است که در این صورت باید ظرفیت آبیگرهای واحد درجه سه را تا میزان مورد نظر افزایش داد.

Table 6. Achievable flexibility in terms of degree of freedom and the cumulative probability of simultaneous intakes

Canal	Statistics of Clément's distribution		eh	Cumulative probability (%)	U (pq)	Qclement (l/s)	Canal capacity (l/s)
	$\mu$ (l/s)	$\sigma$ (l/s)					
L1	1144.79	156.43	1.459	55	0.126	1699.01	1700
			1.359	75	0.675	1699.3	
			1.205	95	1.7	1699.92	
			1	99.98	3.54	1698.6	
L2	1525.34	240.30	1.735	55	0.126	2698.99	2700
			1.599	75	0.675	2698.4	
			1.396	95	1.7	2699.64	
			1.117	99.99	3.71	2699.61	

#### ۴- نتیجه گیری

در شبکه هایی که به صورت توافقی عمل می کنند می توان با ثبت اطلاعات درخواست ها و توافقات انجام شده، چگونگی تغییرات درخواست ها را تحلیل نمود و توزیع احتمال درخواست ها را برای برنامه ریزی بهتر به دست آورد. طبق نتایج این پژوهش، مدل توسعه یافته کلمان به لحاظ تعیین ظرفیت طراحی برای کانال های آبیاری با شیوه توافقی در شبکه آبیاری قزوین مناسب است. با توجه به اطلاعات جمع آوری شده در دوره مورد بررسی، با در نظر گرفتن دبی تحویلی به آبیگرها در محدوده میانگین محاسبه شده برای هر آبیگر می توان همه آبیگرها را به طور هم زمان بهره برداری کرد و ظرفیت فعلی کانال ها محدودیتی در این زمینه ایجاد نمی کند. همچنین به منظور طراحی شبکه و محاسبه ظرفیت کانال های درجه دو برای شرایط بهره برداری مشابه با شرایط شبکه قزوین می توان از مدل کلمان استفاده نمود. با مقایسه ظرفیت موجود کانال ها و ظرفیت مورد نیاز در مدل کلمان میزان انعطاف پذیری قابل دستیابی از نظر احتمال تجمعی آبیگری آبیگرها، و درجه آزادی تعیین شده است.

قابل ذکر است که این نتایج براساس الگوی درخواست و تحویل های کنونی آبیگرها در ماه حداکثر مصرف طی چهار سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ به دست آمده است. بدیهی است چنانچه اطلاعات ثبت شده مطمئن طی سنوات بیش تری در اختیار بود نتایج پژوهش قابلیت اتکای بیش تری داشت. نتایج به دست آمده تا زمانی که الگوی درخواست و تحویل تغییر قابل توجهی پیدا نکند معتبر است. با توجه به محدودیت های موجود در منابع آب می توان اظهار داشت که اگر الگوهای درخواست در آینده کم تر نشود، بیش تر هم نخواهد شد. بنابراین بدون تغییر ظرفیت کانال ها و تنها با مدیریت

درخواست‌ها می‌توان انعطاف‌پذیری در کانال‌های موجود را افزایش داد و برای طراحی کانال‌های جدید و تعیین ظرفیت آن‌ها در شبکه‌ای مشابه با شبکه قزوین از مدل کلمان استفاده نمود.  
با توجه به پیشنهاد پژوهش‌گران مبنی بر افزایش انعطاف‌پذیری در کانال‌های آبیاری انجام و گسترش این نوع بررسی‌ها برای توسعه روش‌های تحویل توافقی که برای اولین بار در ایران صورت می‌گیرد ضرورت دارد.

## ۵- تشکر و قدردانی

در انتها از همکاری مسئولین شبکه آبیاری قزوین به‌ویژه خانم مهندس عبدالهی جهت کمک در جمع‌آوری اطلاعات، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۶- پی‌نوشت‌ها

1. Extreme value distribution
2. Rotational
3. On-Demand, On-Will
4. On-Request, Arranged

## ۷- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۸- منابع

- Anwar, A. A., Clarke, D., & de Vries, T. T. (2006). Channel capacity under arranged demand irrigation. *Agricultural Water Management*, 82 (1-2), 148-160. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.05.007>.
- Anwar, A. A., & Haq, Z. U. (2016). Arranged-demand irrigation scheduling with no identical discharges. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142 (9), 04016033. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001029](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001029).
- Burt, C. M. (2011). *The irrigation sector shift from construction to modernization: What is required for success?* ICID's 21<sup>ST</sup> International Congress on Irrigation and Drainage 19 October 2011, Tehran, Iran. 8th N.D. Gulhati Memorial Lecture for International Cooperation in Irrigation and Drainage. [https://www.icid.org/nd\\_gulhati\\_2011.pdf](https://www.icid.org/nd_gulhati_2011.pdf)
- Clemmens, A. J. (1986). Canal capacities for demand under surface irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 112 (4), 331-347. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1986\)112:4\(331\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1986)112:4(331))
- Danayi fakhr, A., Danayi fakhr, H., Farahani, E., & Fallah rastgar, A. (2003). *Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems*. Iranian National Committee of Irrigation and Drainage, the working group of Farm Irrigation Systems, Publication No 77. PP. 217. (In Persian).
- Lamaddalena, N., & Sagardoy, J. A. (2000). *Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems*. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 59, PP. 149.
- Monserrat, J., Poch, R., Angeles Colomer, M., & Mora, F. (2004). Analysis of Clément's first formula for irrigation distribution networks. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130 (2).

- Monserrat, J., Naghaee, R., Cots, L., & Monem, M.J. (2020). Application of Clément's first formula to an arranged-schedule secondary canal, *Journal of Irrigation & Drainage Engineering*, 147 (2) 06020016-1-7.
- Naghaei, R., & Monem, M.J. (2017). *Determining the capacity of irrigation canals for the on-request delivery method using the Clement model - a case study (Eastern Aghili irrigation network)*. The 16<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conference, Faculty of Technology and Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran. (In Persian).
- Naghaei, R., & Monem, M.J. (2018). *Determining the basics of three methods rotational, on-request, and on-demand, for calculating the capacity of irrigation canals using the Clement model (case study: Aghili network)*. The 17<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conference, Faculty of Technology and Engineering, University of Shahrekord, Sharekord, Iran (In Persian).
- Naghaee, R., & Monem, M. J. (2019). *Sensitivity analysis of irrigation canal capacity With Respect to Farmers' Degree of Freedom Using First Clemment's model (Case Study: East Aghili Canal)*. 3<sup>RD</sup> World Irrigation Forum (WIF3), 1-7 September, Bali, Indonesia.
- Naghaei, R. (2022). *Planning, and Analysis of Arranged Delivery Method, and its' Flexibility in Irrigation Networks, and Development of its Operational Patterns*. Doctoral Dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (In Persian).
- Pérez-Sánchez, M., Carrero, L., Sanchez-Romero, F., & López-Jiménez, P. (2018). Comparison between Clément's first formula and other statistical distributions in a real irrigation network. *Irrigation and Drainage*, 67(2). 10.1002/ird.2233.
- Savari, H., & Monem, M.J. (2015). *Compilation of basics and classification of arranged delivery in irrigation networks*. The 15<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conference, Imam Khomeini International University, Qazvin, Qazvin, Iran, 24 and 25 December 2015. (In Persian).
- Savari, H., Monem, M. J., & Shahverdi, K. (2016). Comparing the Performance of FSL and Traditional Operation Methods for On-Request Water Delivery in Aghili Network, Iran, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142 (11), 1-8. (DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001089)
- Shahverdi, K., Monem, M. J., & Nili. M. (2016). Fuzzy SARSA Learning of Operational Instructions to Schedule Water Distribution and Delivery, *Journal of Irrigation and Drainage*, 65 (3), 276-284. doi. 10.1002/ird.1975.