

## تعیین ظرفیت کانال‌های آبیاری برای روش تحویل بر حسب درخواست با استفاده از مدل

### کلمان

### مطالعه موردی (شبکه عقیلی شرقی)

ریحانه نقایی<sup>1</sup>، محمد جواد منعم<sup>2</sup>

1- دانشجوی مقطع دکتری، گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

2- دانشیار گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

:

R.naghai@modares.ac.ir

#### خلاصه

مهم‌ترین مسئله برای طراحی سیستم‌های آبیاری، محاسبه دبی‌هایی می‌باشد که به داخل شبکه جریان می‌یابد. یکی از روش‌های موفق جهت محاسبه ظرفیت شبکه‌های آبیاری در بهره‌برداری بر مبنای تقاضا، مدل احتمالاتی کلمان می‌باشد. نظر به اینکه در هر دو شیوه بر حسب تقاضا و بر حسب درخواست، هدف اصلی، تامین نیاز آبی گیاه و تولید بیشترین محصول است، می‌توان گفت، احتمال این‌که تعداد درخواست‌های هم‌زمان با تعداد تقاضاهای هم‌زمان یکی باشد وجود دارد، لذا با اعمال یکسری تغییرات بر روی ضرایب، می‌توان از مدل کلمان جهت محاسبه جریان در شبکه‌های بر حسب درخواست نیز استفاده نمود. در این تحقیق، مدل کلمان، برای شیوه بر حسب درخواست، تحلیل و برای کانال عقیلی شرقی به کار برده شد. این مدل، حداکثر ظرفیت کانال عقیلی شرقی را در دوره پیک مصرف با فرض بهره‌برداری 24 ساعته، به مقدار 507/21 لیتر بر ثانیه و حداکثر تعداد درخواست‌های هم‌زمان را از بین 21 آبگیر، 9 آبگیر برآورد نمود. کلمات کلیدی: برنامه‌های تحویل و توزیع آب، روشهای بر حسب درخواست، مدل کلمان

#### 1. مقدمه

مدیریت موفق مصرف آب، نیازمند دو نوع مدیریت در دو سطح مختلف توزیع و تحویل آب می‌باشد (Smith et al., 1997). انعطاف‌پذیرترین روش توزیع و تحویل آب، روش بر حسب تقاضا<sup>1</sup> یا مصرف‌کننده محور می‌باشد که دستیابی به این امر، مستلزم وجود منبع آب کافی، مخازن ذخیره آب در سطح شبکه، خودکارسازی سازه‌های کانال‌ها، نیاز به سطح فن‌آوری قابل توجه، پذیرش اجتماعی تکنولوژی جدید، تغییرات اساسی در مبانی طراحی و اجرا و صرف هزینه‌های زیاد می‌باشد (شاهوردی، 1393). در مقابل، روش بر حسب درخواست<sup>2</sup> یا توافقی مطرح شده است که در این روش میزان آب مورد نیاز توسط زارعین از قبل اعلام می‌شود و به منظور برنامه‌ریزی تحویل آب، مدیریت شبکه باید با توجه به میزان آب موجود و درخواست‌های زارعین، تنظیم سازه‌ها را به گونه‌ای انجام دهد که به مناسب‌ترین وجهی نیازها را تامین نماید (Burt, 2011). نکته ای که در هر دو شیوه بر حسب تقاضا و بر حسب درخواست وجود دارد تنوع گسترده سناریوهای بهره‌برداری در این روش‌هاست. این‌که چه تعداد متقاضی، به طور هم‌زمان، با چه مقدار دبی در چه مدت زمانی و با چه دور آبیاری، سفارش آب داشته باشند، قابل پیش بینی نیست چرا که دبی‌های درخواستی بسته به الگوی کشت، شرایط آب و هوایی، راندمان آبیاری و رفتار کشاورزان در طول زمان به شدت تغییر می‌کند. لذا یکی از مهمترین مسائلی که یک طراح سیستم‌های آبیاری با آن مواجه است محاسبه دبی‌هایی است که به داخل شبکه جریان می‌یابد. ظرفیت طراحی معمولاً با در نظر گرفتن حداکثر تقاضای آب کوتاه مدت و با توجه به یک الگوی کشت متوسط برای کل سیستم تعیین می‌گردد لکن الگوی کشت‌های فردی ممکن است با الگوی طراحی شده متفاوت باشد و سیستم آبیاری ممکن است کوچکتر و یا بزرگتر از اندازه لازم باشد. به دلیل دشوار بودن این مسئله از روش‌های تجربی و مدل-

<sup>1</sup> On-will or On-demand

<sup>2</sup> On-request or Arranged

های آماری گوناگون استفاده شده است. یکی از مدل‌های آماری برای محاسبه جریان‌های طراحی برای شبکه‌های آبیاری بر مبنای تقاضا، مدل احتمالاتی کلمان می‌باشد. مدل کلمان توسط کلمان در سال 1966، انجام پذیرفته و بر مبنای یک روش احتمالاتی، استوار است که مطابق آن در مجموعه ای متشکل از  $R$ ، آبیگر، تعداد آبیگرهایی که به طور همزمان باز می‌باشند از یک توزیع دو جمله‌ای تبعیت می‌کنند. کلمان اگر چه بر مبنای یک نظریه استوار است اما به طور گسترده‌ای برای طراحی شبکه‌های آبیاری فرانسه، ایتالیا، مراکش و تونس، مورد استفاده قرار گرفته است (علیرضا دانایی فخر و همکاران، 1382). نظر به این که در هر دو شیوه برحسب تقاضا و بر حسب درخواست، هدف اصلی، تامین نیاز آبی گیاه و تولید بیشترین محصول می‌باشد، می‌توان گفت، احتمال اینکه تعداد تقاضاهای هم‌زمان با تعداد درخواست‌های هم‌زمان یکی باشد وجود دارد، لذا به منظور پیش-بینی درخواست‌ها و محاسبه جریان در شبکه‌های بر حسب درخواست می‌توان با اعمال یکسری فیلتر، از مدل کلمان برای شبکه‌های آبیاری بر حسب درخواست نیز استفاده نمود. در این تحقیق، مدل کلمان برای سیستم‌های برحسب درخواست، مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت، سپس مدل مذکور برای کانال عقیلی شرقی، که بهره‌برداری از آن به صورت توافقی می‌باشد اجرا شده و ظرفیت کانال عقیلی شرقی برای دوره حداکثر مصرف به دست آمد.

## 2. مواد و روش‌ها

در این بخش، پس از معرفی مدل کلمان برای شبکه‌های بر مبنای تقاضا، مدل مذکور برای شبکه‌های بر حسب درخواست تحلیل و ارزیابی شده و در انتها پس از معرفی شبکه عقیلی شرقی، داده‌های ورودی برای مدل معرفی می‌شود.

### معرفی مدل کلمان برای شبکه‌های بر حسب تقاضا

در شبکه‌های آبیاری بر حسب تقاضا، دبی اسمی آبیگرها بسیار بالاتر از دبی دوره اوج در نظر گرفته می‌شود، این امر باعث می‌شود کشاورزان در مدت زمانی کمتر از 24 ساعت زمین خود را آبیاری کنند از طرفی بهره‌برداری هم‌زمان از تمامی آبیگرها از احتمال بسیار پایینی برخوردار است بنابراین منطقی نیست که برای محاسبه ظرفیت شبکه، دبی تمامی آبیگرها را با هم جمع کنیم. بدین منظور، کلمان در سال 1966، معادله (1)، را که بر گرفته از روش‌های احتمالاتی است، برای محاسبه جریان در شبکه‌های بر مبنای تقاضا ارائه داد (علیرضا دانایی فخر و همکاران، 1382):

$$Q_k = \sum R_i P_i d_i + U(P_q) \sqrt{\sum R_i P_i (1 - P_i) d_i^2} \quad (1)$$

در این رابطه،  $Q_k$ ، کل دبی پایین دست هر آبیگر (لیتر بر ثانیه)،  $R_i$ ، تعداد کل آبیگرها،  $d_i$ ، دبی اسمی آبیگرها (لیتر بر ثانیه)،  $P_q$ ، احتمال جمعی مبنی بر این که در میان  $R$ ، آبیگر، حداکثر  $N$ ، آبیگر باز باشد و  $U(P_q)$ ، معرف کیفیت بهره‌برداری از شبکه بوده که در ادامه راجع به آن بحث خواهد شد.  $P_i$ ، احتمال مقدماتی بهره‌برداری از هر آبیگر است که طبق روابط 2 تا 4، محاسبه می‌شود:

$$P_i = \frac{t'}{T}, \quad t' = \left( \frac{q_s A T}{R d} \right), \quad T' = r T \quad (2)$$

بر اساس رابطه 2، احتمال مقدماتی بهره‌برداری از هر آبیگر برای آبیگرهای همگن از رابطه 3، (علیرضا دانایی فخر و همکاران، 1382) و احتمال مقدماتی بهره‌برداری از هر آبیگر برای آبیگرهای ناهمگن از رابطه 4، (Joaquin Monserrat, 2004)، محاسبه می‌شود:

$$P_i = \frac{q_s A}{r R_i d_i} \quad (3)$$

$$P_i = \frac{q_s A_p}{rd_i} \quad (4)$$

در این روابط،  $t'$ ، زمان متوسط بهره‌برداری هر متقاضی،  $T$ ، حداکثر دوره بهره‌برداری که برابر 24 ساعت است،  $T'$ ، زمان بهره‌برداری از شبکه (ساعت)،  $q_s$ ، دبی پیوسته ویژه (لیتر بر ثانیه بر هکتار)،  $A_p$ ، سطح کل شبکه (هکتار)،  $A_p$ ، سطح زیر کشت هر آبخیز (هکتار) و  $r$ ، ضریب بهره‌برداری از شبکه می‌باشد.

در ادامه، معرفی سه پارامتر درجه آزادی کشاورزان ( $e_h$ )، ضریب بهره‌برداری ( $r$ ) و کیفیت بهره‌برداری ( $U(P_q)$ )، لازم به ذکر می‌باشد (دانایی فخر و همکاران، 1382):

- درجه آزادی کشاورزان یا انعطاف‌پذیری متوسط آبخیزها ( $e_h$ ):

$$e_h = \frac{Rd}{q_s A} \quad (5)$$

درجه آزادی، معرف آزادی داده شده به کشاورزان برای این که آب مطمئن تر و بیشتری نسبت به حالت پیوسته از شبکه دریافت کنند (آذین زمان - زاده، 1385). درجه آزادی، بر مبنای اندازه و پراکندگی زمین‌ها، در دسترس بودن نیروی کار، نوع تجهیزات سیستم آبیاری مزرعه و دور آبیاری تعیین می‌شود. در شبکه‌های بر مبنای تقاضا، پایین‌ترین درجه آزادی مربوط به  $e_h = 1.5 - 2$  و بالاترین درجه آزادی، مربوط به  $e_h = 6 - 8$  می‌باشد.

- ضریب بهره‌برداری ( $r$ ):

$$r = \frac{T'}{T} \quad (6)$$

ضریب بهره‌برداری، عبارت است از نسبت مدت زمان بهره‌برداری از شبکه به مدت زمان دوره حداکثر (ساعت)، مقادیر انتخاب شده برای  $r$  در شبکه‌های بر مبنای تقاضا، معمولاً بین  $\frac{22}{24}$  ( $r = 0.67$ ) و  $\frac{22}{24}$  ( $r = 0.93$ )، می‌باشد.

- کیفیت بهره‌برداری از شبکه ( $U(P_q)$ ):

این پارامتر تابعی از احتمال تجمعی نرمال می‌باشد که مقادیر متناظر آن در جدول (1)، ارائه شده است. مقادیر توصیه شده برای این پارامتر معمولاً بین  $1/645 - 2/324$ ، در تناظر با مقادیر  $P_q$ ، بین  $0/95 - 0/99$ ، می‌باشد. کاهش بیش از حد این پارامتر می‌تواند به وقوع نقایص غیرقابل قبولی در تامین درخواست آب در نقاط خاصی از شبکه منجر شود (Labye et al, 1998).

جدول 1- تابع احتمال تجمعی نرمال استاندارد

$P_q$	$U(P_q)$
0.90	1.285
0.91	1.345
0.92	1.405
0.93	1.475
0.94	1.555
0.95	1.645
0.96	1.755
0.97	1.885

0.98	2.055
0.99	2.324

مدل کلمان بر پایه سه فرضیه استوار است (علیرضا دانایی فخر و همکاران، 1382):

- **فرضیه اول:** در سیستم های آبیاری بر مبنای تقاضا، ضریب بهره‌برداری از شبکه باید از مقداری برابر با یک برخوردار باشد زیرا ممکن است این سیستم، ناگزیر، تمام مدت 24 ساعت شبانه روز مورد بهره‌برداری قرار بگیرد. لکن، به گفته کلمان ضریب بهره‌برداری از سیستم، بدین مفهوم است که در طی مرحله طراحی، مدت زمان آبیاری در طول روز در دوره حداکثر مصرف، کمتر از 24 ساعت در نظر گرفته می‌شود. در عین حال باید گفت مدل کلمان همانند تمامی مدل‌های دیگر تنها تصویری کلی از یک شبکه واقعی به دست می‌دهد و باید این مدل را با استفاده از داده های صحرایی واسنجی نمود. به ویژه پارامتر  $T$ ، را باید در هر زمان ممکن برای مناطق همگن و برای محصولات مشخص انتخاب کرد.
- **فرضیه دوم:** مربوط به احتمال مقدماتی باز بودن هر آبیگر است که به برآوردی از زمان متوسط بهره‌برداری از هر آبیگر اشاره دارد. در سیستم‌های بر مبنای تقاضا این احتمال با واقعیت انطباق ندارد چرا که ممکن است یک کشاورز آبیگر خود را باز کند و در مدت زمان طولانی به همان حال رها کند علاوه بر این، احتمال مقدماتی، بسته به رفتار کشاورز در طول روز تغییر می‌کند.
- **فرضیه سوم:** استقلال آبیگرها و بهره‌برداری تصادفی از آن‌ها می‌باشد که این فرضیه به طور کامل قابل اطمینان نیست چرا که تغییرات شب و روز و تشابه محصولات در یک محدوده آبیاری، رفتار کشاورزان را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

#### تحلیل و ارزیابی مدل کلمان برای شبکه های بر حسب درخواست

چنان که قبلا اشاره شد با توجه به یکسان بودن نیاز آبی گیاه در هر دو شیوه مصرف‌کننده محور و توافقی، می‌توان گفت، تعداد درخواست‌های هم-زمان برای هر دوشیوه تحویل و توزیع آب، برابر می‌باشد. بنابراین، احتمال بهره‌برداری از هر آبیگر در روش بر حسب درخواست طبق آن چه برای روش بر حسب تقاضا گفته شد قابل محاسبه است. نکته‌ای که قابل توجه است برآورد درجه آزادی و ضریب بهره‌برداری در شبکه های بر حسب درخواست می‌باشد.

درجه آزادی در شرایط توافقی، حد واسط درجه آزادی برای شیوه مصرف‌کننده محور (بر حسب تقاضا) و عرضه محور (گردشی) می‌باشد. در روش گردش می‌تواند این پارامتر در شبکه های بزرگ، حتی به کمتر از یک هم برسد چرا که در این روش تصمیم‌گیرنده مستقیم، مدیر شبکه بوده و کشاورز هیچ نقشی در تعیین نیاز آبیاری خود ندارد لکن در روش توافقی این مقدار قطعاً کمتر از یک نخواهد بود اما به بزرگی درجه آزادی برای روش بر حسب تقاضا نیز نمی‌باشد.

در مورد ضریب بهره‌برداری، طبق آن چه در فرضیه اول گفته شد ضریب بهره‌برداری از شبکه باید از مقداری برابر با یک برخوردار باشد به‌ویژه این مقدار در شبکه‌های بر حسب درخواست از اهمیت بالایی برخوردار است چراکه در این حالت، زمان بهره‌برداری از آبیگر تنها در اختیار زارع نیست بلکه آبیاری به صورت توافقی صورت می‌گیرد و ممکن است طبق توافق با مدیر شبکه، آبیاری به صورت 24 ساعته انجام شود لذا احتمال این که این ضریب برابر یک باشد بیش تر است. چنان که در حال حاضر، اکثر شبکه‌های بر حسب درخواست، بر اساس آبیاری 24 ساعته مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در غیراین صورت همانطور که در فرضیه اول گفته شد با اطمینان از این که زمان آبیاری کمتر از 24 ساعت است می‌توان این ضریب را در هر زمان ممکن برای مناطق همگن و برای محصولات مشخص با توجه به داده‌های صحرایی واسنجی نمود.

اما در مورد فرضیه دوم و سوم مدل می‌توان گفت این فرضیه‌ها با سیستم‌های بر مبنای درخواست، سازگاری بیشتری دارند چرا که در این سیستم‌ها، اختیار نهایی بر عهده زارع نیست بلکه یک عامل کنترل، تحت عنوان مدیر شبکه وجود دارد، این عامل کنترلی باعث می‌شود علاوه بر این که احتمال باز گذاشتن و رها کردن آبیگرها به حداقل می‌رسد استقلال آبیگرها برای بهره‌برداری به حداکثر برسد لذا احتمال مقدماتی از روی زمان متوسط بهره‌برداری امری معقول می‌باشد. لذا فرض دوم و سوم برای شبکه‌های بر مبنای درخواست، کاملاً درست و منطقی می‌باشد. با اعمال نکات ذکر شده در بالا، می‌توان مدل کلمان را برای شبکه‌های آبیاری بر حسب درخواست به کار برد. کاربرد این مدل برای شبکه عقیلی شرقی در ادامه آمده است.

#### معرفی کانال عقیلی شرقی (هاجر ساوری و محمد جواد منعیم، 1395):

شبکه آبیاری عقیلی واقع در استان خوزستان، متشکل از کانال اصلی عقیلی و دو کانال درجه یک به نام‌های عقیلی شرقی و عقیلی غربی می‌باشد. سطح زیر کشت ناخالص این شبکه 7225 هکتار و میانگین مصرف آب سالانه آن 150 میلیون مترمکعب برآورد شده است. نحوه توزیع و تحویل آب

در شبکه عقیلی بدین صورت است که در ابتدای هر فصل آبیاری طبق روال تمامی شبکه‌های ایران، سهمیه آب از سوی دفتر بهره‌برداری سد اعلام می‌شود. هر شبکه با توجه به میزان آب در دسترس، برنامه‌ریزی لازم برای فصل کشت آبی را انجام می‌دهد. در این شبکه‌ها معمولاً الگوی کشت مشخصی با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه وجود دارد که مهمترین آنها صیفی‌جات، گندم و ذرت می‌باشد. بطور معمول یک ماه قبل از شروع فصل کشت اکثر کشاورزان به دفاتر تعاونی مستقر در منطقه جهت عقد قرارداد آبی مراجعه می‌کنند. در قرارداد مذکور نوع کشت و سطح زیر کشت مشخص می‌شود و سپس نیاز آبی محصول مورد نظر توسط کارشناسان تعاونی بصورت هکتاری و ماهانه محاسبه شده و در قرارداد نوشته می‌شود. پس از شروع فصل کشت کشاورزان می‌توانند هر 10 روز یکبار درخواست آب نمایند. آنچه در بالا ذکر شد نشان می‌دهد، توزیع و تحویل آب در شبکه عقیلی شرقی به شیوه بر حسب درخواست می‌باشد به‌گونه‌ای که کشاورزان در زمان مقرر، درخواست لازم را تسلیم نموده و مدیر شبکه با توجه به میزان آب در دسترس، نیاز آبی کشاورز را تامین می‌کند. به‌منظور کاربرد مدل کلمان برای شبکه عقیلی، اولین گام، تعیین دبی پیوسته ویژه شبکه عقیلی شرقی با استفاده از الگوی کشت و نیاز آبی گیاهان می‌باشد. نیاز آبی شبکه برای فروردین ماه 1393، با استفاده از داده‌هایی نظیر متوسط درجه حرارت، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد، متوسط بارندگی، درصد تابش خورشیدی و ... توسط نرم افزار کراپ وات استخراج شد. پس از آن دبی پیوسته ویژه با توجه با الگوی کشت و نیاز آبی، محاسبه شد.

گام دوم، تعیین دبی اسمی آبیگرها می‌باشد. این پارامتر با توجه به رابطه (5)، محاسبه شد. طبق بررسی‌های به‌عمل آمده، کشاورزان در شبکه عقیلی از درجه آزادی نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشند. در این تحقیق، درجه آزادی کشاورز با لحاظ یک ضریب اطمینان و با دید یک تصویر کلی از شبکه، برابر با 4، ( $e_h = 4$ ) در نظر گرفته شد (جدول 2).

در گام سوم، ضریب بهره‌برداری با توجه به 24 ساعته بودن مدت بهره‌برداری، برابر با یک و کیفیت بهره‌برداری طبق توصیه بند 2، برابر با 1/645 در نظر گرفته شد. در نهایت، اطلاعات ورودی مدل شامل شماره آبیگرها، شماره نقطه ابتدایی و انتهایی بازه‌ها، سطح زیر کشت هر آبیگر، طول هر بازه، رقوم پایین دست هر بازه، دبی اسمی آبیگرها، ضریب بهره‌برداری و کیفیت بهره‌برداری به مدل معرفی شد. این اطلاعات در جدول (3) نشان داده شده است.

خروجی حاصل از مدل در جدول 4، نشان داده شده است.

جدول 2- محاسبه دبی پیوسته ویژه و دبی اسمی آبیگرها

شماره آبیگر	دبی آب تحویلی توسط هر آبیگر (lit/s) irrigation Discharge					دبی آبیگرها در دوره پیک (lit/s)	دبی اسمی آبیگرها (eh=4) (lit/s)
	ماش	ذرت	یونجه	لوبیا	مجموع		
1	0.00	0.33	0.08	0.00	0.41	1.46	5.83
2	0.00	5.07	0.30	0.58	5.94	7.31	29.23
3	0.00	3.81	0.38	0.00	4.19	7.02	28.09
4	1.12	5.79	1.06	0.05	8.02	10.21	40.83
5	0.00	3.19	0.35	0.00	3.54	6.19	24.76
6	0.00	8.26	0.36	0.00	8.62	10.49	41.95
7	1.20	29.28	1.23	0.00	31.71	30.47	121.88
8	0.00	12.44	0.00	0.00	12.44	13.33	53.34
9	0.00	14.14	1.33	0.00	15.47	16.26	65.02
10	0.75	14.80	2.54	0.00	18.09	18.73	74.92
11	0.79	15.61	0.82	0.00	17.22	16.87	67.48
12	0.32	12.09	2.43	0.00	14.85	15.37	61.48
13	2.99	13.11	0.00	0.00	16.10	15.27	61.10
14	3.31	15.67	1.69	0.00	20.67	18.58	74.31
15	5.91	8.30	1.37	0.00	15.58	15.92	63.66
16	4.45	10.68	5.08	0.00	20.22	17.08	68.31
17	1.66	4.59	0.00	0.00	6.25	6.47	25.86
18	1.81	19.08	4.27	0.00	25.16	24.25	97.01

19	0.65	4.16	0.30	0.00	5.10	4.57	18.30
20	2.45	19.53	11.22	0.00	33.21	28.33	113.31
21	4.57	5.67	2.57	0.80	13.61	10.96	43.82
<b>دبی پیوسته ویژه</b>					<b>0.53</b>		

جدول 3- اطلاعات ورودی مدل کلمان برای کانال عقیلی شرقی

گره اولیه	گره پایانی	تعداد آبگیرها	طول بازه (کیلومتر)	رقوم پایین دست بازه (متر)	مساحت زیرکشت هر آبگیر (هکتار)	دبی اسمی آبگیرها (لیتر بر ثانیه)
0	1	21	832	195.642	2.75	5.83
1	2	20	1098	192.734	13.79	29.23
2	3	19	460	192.304	13.25	28.09
3	4	18	845	189.561	19.26	40.83
4	5	17	1315	188.945	11.68	24.76
5	6	16	618	188.705	19.79	41.95
6	7	15	495	188.205	57.49	121.88
7	8	14	1260	187.53	25.16	53.34
8	9	13	125	187.263	30.67	65.02
9	10	12	1115	186.094	35.34	74.92
10	11	11	955	185.804	31.83	67.48
11	12	10	720	183.164	29.00	61.48
12	13	9	980	182.404	28.82	61.10
13	14	8	1115	181.714	35.05	74.31
14	15	7	965	181.004	30.03	63.66
15	16	6	1000	180.992	32.22	68.31
16	17	5	20	179.692	12.20	25.86
17	18	4	1545	179.646	45.76	97.01
18	19	3	47	178.184	8.63	18.30
19	20	2	1058	178.184	53.45	113.31
20	21	1	0.5	178.184	20.67	43.82
<b>مجموع</b>					<b>556.84</b>	<b>1180.50</b>

جدول 4- نتایج حاصل از مدل کلمان

گره اولیه	گره پایانی	تعداد آبگیرها	مساحت پایین دست هر آبگیر (تجمعی) (هکتار)	تعداد آبگیرهای در حال بهره‌برداری هم- زمان	دبی محاسباتی کلمان (تجمعی)
0	1	21	556.84	9	<b>507.21</b>
1	2	20	554.09	8	<b>512.4</b>
2	3	19	540.30	8	<b>494.1</b>
3	4	18	527.05	8	<b>494.1</b>
4	5	17	507.79	8	<b>481.43</b>
5	6	16	496.11	8	<b>481.43</b>
6	7	15	476.32	7	<b>481.43</b>
7	8	14	418.83	7	<b>427.86</b>
8	9	13	393.67	7	<b>427.86</b>
9	10	12	363.00	7	<b>427.86</b>
10	11	11	327.66	7	<b>420.42</b>

11	12	10	295.83	5	416.6
12	13	9	266.83	5	416.6
13	14	8	238.01	5	416.6
14	15	7	202.96	5	386.11
15	16	6	172.93	5	348.31
16	17	5	140.71	5	298.3
17	18	4	128.51	4	272.44
18	19	3	82.75	3	175.43
19	20	2	74.12	2	157.13
20	21	1	20.67	1	43.82

### 3. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد، اگر چه مدل کلمان برای تعیین ظرفیت شبکه‌های آبیاری بر مبنای تقاضا ارائه شده است، لکن می‌توان از این مدل برای تعیین ظرفیت کانال‌های آبیاری با شیوه بر حسب درخواست نیز بهره جست. این تئوری به دو دلیل ذیل قابل پذیرش است: اول این‌که، فرضیه‌های دوم و سوم مدل کلمان با شبکه‌های بر حسب درخواست، سازگاری بیشتری دارد به طوری‌که، تاثیر رفتار کشاورز بر روی زمان بهره‌برداری از هر آبیگر و عدم استقلال آبیگرها زمانی صادق است که تصمیم‌گیرنده نهایی و مستقیم، کشاورز باشد (شبکه‌های بر حسب تقاضا)، و این درحالی است که در شبکه‌های بر حسب درخواست، تصمیم نهایی به عهده مدیر بوده و مدیر شبکه به عنوان یک کنترل کننده، بر روی زمان بهره‌برداری از هر آبیگر، نظارت مستقیم دارد لذا امکان بازگذاشتن و رها کردن آبیگرها طبق خواسته کشاورز به حداقل رسیده و به تبعیت از آن استقلال آبیگرها و امکان بهره‌برداری تصادفی از هر آبیگر فراهم می‌شود.

مبحث دوم، درجه آزادی کشاورزان بوده که تفاوت اصلی شبکه‌های بر حسب تقاضا و بر حسب درخواست می‌باشد. در مدل کلمان با تغییر محدوده کمیت‌هایی نظیر درجه آزادی کشاورزان و ضریب بهره‌برداری از شبکه، می‌توان این مدل را برای شبکه‌های بر حسب درخواست به کار برد.

با اعمال آنچه در بالا گفته شد مدل کلمان برای شبکه عقیلی شرقی اجرا و نتایج در جدول 4، ارائه شد. نتایج حاصل از جدول (4)، نشان می‌دهد، در ابتدای کانال، از میان 21 آبیگر، حداکثر 9، آبیگر به‌طور هم‌زمان، در حال بهره‌برداری هستند، مجموع دبی حاصل از 9 آبیگر برابر 507/21 لیتر بر ثانیه می‌باشد. لذا حداکثر ظرفیت مورد نیاز برای طراحی کانال عقیلی شرقی برابر 507/21 لیتر بر ثانیه می‌باشد. در ردیف دوم، که تعداد کل آبیگرها برابر 20 عدد می‌باشد، حداکثر تعداد آبیگری که به‌طور هم‌زمان در حال بهره‌برداری هستند برابر 8 عدد می‌باشد و مجموع دبی این 8 آبیگر برابر 512/4 لیتر بر ثانیه است.

نکته قابل ذکر، 5 ردیف آخر جدول است که به ترتیب تعداد آبیگرهای در حال بهره‌برداری هم‌زمان از آخر به اول جدول برابر 1، 2، 3، 4 و 5 آبیگر می‌باشد، این نتایج نشان می‌دهد، جریان آبیگرها در انتهای پایین‌دست شبکه با هم جمع جبری شده است. این امر منطقی است چرا که مدل کلمان توصیه می‌کند در دورترین نقاط شبکه از یک روش جبری استفاده شود بدین ترتیب که جریان آبیگرها را هنگامی که تعداد آن‌ها از مقدار خاصی کمتر می‌شود (عملاً بین 4 و 10)، با هم جمع بسته می‌شود.

این تحقیق نشان داد، مدل کلمان، هم به لحاظ پیش‌بینی ظرفیت طراحی و هم به لحاظ پیش‌بینی عملکرد بهره‌برداری برای کانال‌های آبیاری با شیوه بر حسب درخواست مناسب می‌باشد.

### 4. مراجع

1. Smith, M., L. S. Pereira, J. Berengena, B. Itier, J. Goussard, L. Tollefson and P. Van Hofwegen (1997). "Irrigation scheduling: From theory to Practice."
2. شاهرودی، ک. (1393). توسعه سامانه بهره‌برداری بر حسب درخواست در شبکه‌های آبیاری با استفاده از روش یادگیری تقویتی (مطالعه موردی: کانال عقیلی شرقی)، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
3. Burt, C. M. (2011). "The Irrigation Sector Shift from Construction to Modernization: What is Required for Success?" 8th N.D. Gulhati Memorial Lecture for International Cooperation in Irrigation and Drainage. pp. 7-22.
4. دانایی فخر، ع.ا.، دانایی فخر، ح. (1382). ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر مبنای تقاضا، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

5. Monserrat, J. Poch, R. Angeles Colomer, M. Mora, F. (2004). Analysis of clement's first formula for irrigation distribution networks. Published in Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 130, n.2, April 2004

6. Labye . Y, olson , M.A, Galand , A Tsiourtis , N . (1998). Design and optimization of irrigation distribution

networks.FAo 44.

7. ساوری، ه. منعم، م ج. (1395). تدوین مبانی و طبقه‌بندی روش تحویل و توزیع بر حسب درخواست در شبکه‌های آبیاری، شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، 24 و 25 آذرماه 1395.