

**Review Paper**

**مقاله مروری**

**Smart City Solutions to Cope with Water  
Crisis Based on the KNX Protocol**

**راه کارهای شهر هوشمند برای مقابله با بحران  
کمبود آب مبتنی بر پروتکل KNX**

**Mona Jahangiri Khah<sup>1</sup>, Monireh Houshmand<sup>2</sup>  
and Mahsa Khorrampanah<sup>3</sup>**

1- M.Sc., Department of Electrical Engineering,  
Imam Reza International University, Mashhad,  
Iran.

2- Assistant Professor, Department of Electrical  
Engineering, Imam Reza International University,  
Mashhad, Iran.

3- Ph.D student, Faculty of Electrical and  
Computer Engineering, University of Tabriz,  
Tabriz, Iran.

\*Corresponding Author, Email:  
[m\\_houshmand61@yahoo.com](mailto:m_houshmand61@yahoo.com)

منا جهانگیری خواه<sup>۱</sup>، منیره هوشمند<sup>۲</sup>\* و مهسا خرم پناه<sup>۳</sup>  
۱- کارشناس ارشد، گروه برق، دانشگاه بین المللی امام رضا (ع)،  
مشهد، ایران.  
۲- استادیار، گروه برق، دانشگاه بین المللی امام رضا (ع)، مشهد،  
ایران.  
۳- دانشجوی دکتری، گروه برق، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
\*نویسنده مسئول، ایمیل: [m\\_houshmand61@yahoo.com](mailto:m_houshmand61@yahoo.com)

Received: 23/07/2020

Revised: 07/01/2021

Accepted: 09/01/2021

© IWWA

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۲

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰

© انجمن آب و فاضلاب ایران

**Abstract**

**چکیده**

A brief look at the status of statistics provided by different authorities regarding the water crisis represents a leading threat to the spiritual capital of Iran. Iran faces issues such as climate and reduced atmospheric precipitation, with a lack of resources and serious water supply constraints. Many challenges, including water crisis management, and the ever-increasing advances in information and communication technology, on the other hand, have made the move to smart cities an inescapable necessity. In a previous research, the strategies for intelligent water management and water resources control are presented from three perspectives of urban, residential and irrigation solutions and its implementation is presented with the KNX intelligent protocol.

نگاه کوتاهی به وضعیت آمار ارائه شده از طرف مسئولان مختلف در رابطه با بحران آب، بیانگر خطر پیشرو است. ایران در کنار مسائلی چون وضعیت اقلیمی، کاهش نزولات جوی، عدم جمع آوری هدفمند آب باران و مصارف بی‌رویه با کمبود منابع و محدودیت‌های جدی تامین آب روبرو است. چالش‌های متعدد از جمله مدیریت بحران آب از طرفی و پیشرفت روزافزون فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات از طرفی دیگر، حرکت به سوی شهرهای هوشمند را به الزامی گریزناپذیر بدل کرده است. در پژوهش پیشرو راه کارهای مدیریت هوشمند مصرف آب و کنترل ذخایر آبی از سه منظر راهکارهای شهری، مسکونی و آبیاری ارائه شده و پیاده‌سازی‌های آن با پروتکل هوشمندسازی KNX ارائه می‌شود.

**Keywords:** Smart city, Water resources, Water crisis, KNX protocol.

**کلمات کلیدی:** شهر هوشمند، منابع آبی، کمبود آب، پروتکل KNX.

در تحقیق (Priya, 2017) سیستم مدیریت آب برای اندازه‌گیری فشار و میزان pH آب، معرفی می‌شود که نشت آب و همچنین ایمن بودن میزان pH برای سلامتی انسان را تشخیص می‌دهد. در ساختار این سیستم ها، از حسگرها استفاده می‌شود. اطلاعات دریافتی از حسگرها، توسط میکروکنترلر پردازش می‌شوند و از طریق کامپیوترها و یا شبکه‌های بی‌سیم با یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند. همچنین همایی (۱۳۹۱) با استفاده از شبکه های حسگر بی‌سیم، تکنولوژی‌هایی برای نظارت دقیق‌تر شهرها بر سیستم‌های لوله‌کشی آب آشامیدنی و شناسایی خطرات هدر رفتن آب ارائه کرد.

Asalmol (2017) به کمک حسگرهای فراصوتی، میزان آب موجود در مخزن، کیفیت آب و نشتی آب را ارزیابی کردند که به کمک تابلو arduino بر روی وبسایتی اعلام می‌شود. Lopez (2018) بر مبنای کنتورهای هوشمند روشی را برای تعیین پویای تعرفه آب و اعلام آن به کاربر ارائه دادند. پیاده‌سازی این روش در شهر والنسیا در کشور اسپانیا با ۴۳۰۰۰۰ مشترک گواهی بر کاهش ۱۸ درصد در مصرف آب دارد. (Curry, 2018) پنج پروژه هوشمند پایلوت برای کاهش مصرف آب در فرودگاه هوشمند، خانه هوشمند، مدرسه هوشمند و ساختمان هوشمند و میزان آب صرفه‌جویی شده ارائه کرد. (Jayalakshmi, 2019) و (Jayalakshmi, 2019) نیز یک سبک کشاورزی دقیق، مبتنی بر حسگرهای ابری برای مدیریت آب هوشمند، ارائه کردند.

## ۲- شهر هوشمند

شهر هوشمند یک سیستم شهری است که از ICT برای ایجاد زیرساخت و خدمات عمومی تعاملی با دسترسی آسان و بهره‌وری بالاتر استفاده می‌نماید. مبحث شهر هوشمند در شش حوزه اقتصاد هوشمند (رقابت)، دولت هوشمند (همیاری شهروندان)، مردم هوشمند (سرمایه انسانی و اجتماعی)، حمل و نقل هوشمند (حمل و نقل و ICT)، محیط‌زیست هوشمند (منابع طبیعی) و زندگی هوشمند (کیفیت زندگی) تعریف می‌شود. (Cocchia, 2014). به‌طور خلاصه مهم‌ترین هدف شهر هوشمند دستیابی به مدیریت بهینه در تمامی حوزه‌های یک شهر است. گسترش علم در زمینه ICT نقش اساسی در فناوری‌های لازم برای ساخت شهر هوشمند را ایفا می‌نماید.

## ۱-۲- پروتکل‌های ساختمان هوشمند

سیستم‌های اتوماسیون ترکیبی از دستگاه‌ها و تجهیزات

به‌دنبال گرم شدن زمین، رشد جمعیت و افزایش سرانه مصرف، موضوع کنترل مصرف آب به یک ضرورت و برنامه جدی در زندگی و مدیریت کلان شهرها تبدیل شده است. خراسان رضوی و دشت مشهد سال‌ها با بحران خشکسالی و کم‌آبی دست و پنجه نرم می‌کند، بحرانی که برداشت‌های غیرقانونی از منابع آب زیرزمینی و روند گرمای زمین آن را تشدید کرده است (Madani, 2014). در شرایط کنونی راه‌حلی موثر برای مدیریت بحران کمبود آب، تکیه بر روش‌های نوین مبتنی بر فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات<sup>۱</sup> (ICT) برای افزایش بهره‌وری مصرف آب و مدیریت آب از منبع تا مصرف در تمام بخش‌های کشاورزی، فضای سبز، فضای شهری، مسکونی و شرب است (Kumbhar, 2016; Karwot, 2016).

افزایش روزافزون جمعیت کره زمین و محدودیت بیش از پیش منابع طبیعی این کره خاکی سبب شده تا هوشمندسازی شهرهای سراسر جهان تبدیل به یک رسالت جدی برای نسل بشر شود (Hollands, 2008; Nam, 2011; Cocchia, 2014). کشورها و مناطق مختلفی در سراسر دنیا با مشکلات جدی کمبود آب روبرو هستند (Loucks, 2017). کشورهای با بارش کم باران شامل آسیای مرکزی، هند، خاورمیانه، آفریقای شمالی و آمریکای شمالی هستند. در حدود ۱/۱ میلیارد نفر در سطح کره زمین دسترسی به آب با کیفیت مطلوب ندارند (Priya, 2017). از هر چهار شهر در دنیا یک شهر دستخوش بحران کم‌آبی است که رشد جمعیت و افزایش شهرنشینی این آمار را افزایش خواهد داد. تا سال ۲۰۵۰ بالغ بر شش میلیارد نفر در شهرها زندگی خواهند کرد (McDonald, 2014).

از سال ۲۰۱۲ بیش از ۱۴۰ شهر دنیا در آمریکای شمالی، اروپا و آسیای شرقی، برنامه‌های هوشمندسازی را آغاز کرده‌اند (Mizuki, 2012). سیستم‌های هوشمند ساختمان به‌دلیل برخوردار بودن از هوش مصنوعی می‌توانند عکس‌العمل‌هایی را نسبت به شرایط محیط خود نشان داده و به‌طور خودکار برخی از کارها را انجام دهند (سرداری، ۱۳۹۵). کمپانی ژاپنی هیتاچی با بیش از صد سال سابقه در تصفیه آب در تقریباً ۴۰ کشور دنیا، در صدد است که شهرهای هوشمند را با هدف استفاده موثر از منابع آبی و زیرساخت موثر آب ایجاد کند (Mogo, 2019). در شهر آستین ایالت تگزاس، در سال ۲۰۱۵، بیش از ۵/۸ میلیارد بشکه آب شرب از لوله‌ها پیش از رسیدن به مشترک به‌دلیل نشت آب در لوله‌ها هدررفته است که حدود ۱۲٪ آب شرب مصرف‌شده در سال است (Dickey, 2018).

بدون سیم برای سیستم‌های هوشمند ارائه شده است که هر یک دارای مزایا و معایب مربوط به خود است. بهترین پروتکل برای هر پروژه هوشمند سازی متناسب با نیاز پروژه، مزایای مربوط به پروتکل‌های موجود و بودجه در نظر گرفته شده انتخاب می‌شود. به دلیل محدودیت‌های هر پروتکل و با توجه به نیازهای پروژه ممکن است نیاز باشد که در یک پروژه از ترکیب چند پروتکل استفاده شود. در این صورت باید از درگاه‌های ارتباطی برای برقراری اتصال میان شبکه‌های مختلف بهره گرفت. ZigBee، Z-Wave و EnOcean نمونه‌هایی از پروتکل‌هایی هستند که بدون نیاز به سیم، داده‌ها و دستورهای کنترلی را جا به جا می‌کنند. BACnet، LonWorks، KNX، DALI، ModBus و S-Bus نیز نمونه‌هایی از پروتکل‌های با سیم هستند که برای جابه‌جایی داده نیازم به بستر کابل‌کشی شده میان تجهیزات دارند. جدول ۱ تفاوت میان ویژگی‌های پروتکل‌های مختلف را نشان می‌دهد (Lee, 2008).

مختلف هستند که همگی از طریق یک شبکه محلی یا شبکه‌های بزرگتر با یکدیگر در ارتباط هستند. سیستم اتوماسیون با طیف وسیعی از تجهیزات از قبیل تجهیزات موجود در ساختمان‌های مسکونی، سیستم روشنایی فضاهای شهری، سیستم‌های آبیاری و تجهیزات تخصصی و بزرگتری از جمله چیلرها، بویلرها، تهویه‌ها و دریچه‌های برقی در یک شبکه قرار می‌گیرند. بدون در نظر گرفتن نوع پروتکل ارتباطی موجود در کنترل‌کننده‌های محلی در مکان‌ها و ناحیه‌های مختلف، اطلاعات به فضای ابری ارسال می‌شود تا توسط درگاه‌های ارتباطی سایر پروتکل‌ها استفاده شوند. حسگرها وظیفه جمع آوری اطلاعات را برعهده دارند و از عناصر مهم در سیستم‌های اتوماسیون محسوب می‌شوند. هر چه تعداد حسگرها بیشتر باشد آنالیز اطلاعات دریافتی با دقت بیشتری صورت می‌گیرد و در نهایت منجر به افزایش کارایی سیستم می‌شود. تاکنون پروتکل‌های ارتباطی مختلفی در هر دو نوع با سیم و

جدول ۱- انواع پروتکل‌های هوشمندسازی

پروتکل	نوع استاندارد	محیط انتقال داده	محدوده فرکانسی	قابلیت اطمینان	امنیت
KNX	باز	کابل KNX، هوا و خطوط برق	در نوع KNX RF در حدود 868 MHz	بسیار بالا	بسیار بالا
ZigBee	باز	هوا	2.4 GHz	بالا	بالا
Z-Wave	اختصاصی	هوا	868 MHz	پایین	پایین
EnOcean	باز	هوا	868 MHz	متوسط	پایین
BACnet	باز	خطوط برق	868 MHz	پایین	پایین
LonWorks	باز	خطوط برق	868 MHz	متوسط	پایین
DALI	باز	خطوط برق	868 MHz	پایین	پایین
ModBus	باز	خطوط برق	868 MHz	پایین	پایین
S-Bus	باز	خطوط برق	868 MHz	پایین	پایین

است. این پروتکل مورد تایید استانداردهای بین‌المللی ISO/IEC 14543-3، استاندارد اروپا EN 13321-1 and EN 50090، استاندارد ANSI/ASHRAE و استاندارد چین GB/T 20965 است. این استاندارد در سال ۱۳۹۲ توسط سازمان ملی استاندارد ایران با شماره ۱۷۰۸۳-۳ در فهرست استانداردهای ملی ایران قرار گرفت. آنچه پروتکل KNX را از دیگر رقبا متمایز می‌سازد، توانایی تعامل و سازگاری آن با دیگر پروتکل‌ها است. بدین معنی که کاربران قادرند محصول موردنظر خود را از کمپانی‌های دیگری خریده و به سایر تجهیزات KNX مجهز سازند. از نمونه‌های عملی پروتکل KNX می‌توان به پیاده‌سازی سیستم روشنایی در لهستان (Sowa, 2018)، خودکارسازی منازل در چین (Lee, 2009) و ایتالیا (Lázaro, 2008) و در کنترل مصرف آب در رومانی (Sita, 2014) اشاره کرد.

قابلیت اطمینان از اطلاعات دریافتی از محیط برای آنالیز و ارسال دستورهای لازم، امکان ایجاد ارتباط میان تمامی سیستم‌ها که از لحاظ نحوه عملکرد متفاوت هستند، امنیت بالا در انتقال دستورها و اطلاعات و وجود طیف گسترده‌ای از محصولات برای کاربردهای مختلف از جمله مهم‌ترین شاخص‌ها در انتخاب پروتکل مورد نیاز برای پیاده‌سازی یک شهر هوشمند است. با توجه به مطالعات انجام شده، پروتکل KNX دارای بیشترین تنوع در واسط‌های انتقالی داده، محصولات (با توجه به این‌که محصولات بیش از ۴۰۰ شرکت معتبر در دنیا تحت استاندارد KNX هستند (<https://www.KNX.org/KNX-en/for-manufacturers/>) و بالاترین قابلیت اطمینان و امنیت است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در پیاده‌سازی شهر هوشمند از این پروتکل استفاده شود. KNX برپایه سه پروتکل قبلی ارتباطی خانه هوشمند یعنی EIB، Baitbus و EHS در سال ۲۰۰۶ توسعه یافته

## ۲-۱-۱- پروتکل KNX

استاندارد چینی GB/T 2096 مطابقت دارد.

KNX یک استاندارد ارتباطی جهانی برای کنترل خانه و ساختمان است (Lee, 2008). این استاندارد در سال ۱۹۹۹ با ترکیب سه استاندارد قدیمی سیستم‌های خانگی اروپایی (EHS)، BatiBUS و شبکه تجهیزات اروپایی (EIB یا Instabus) توسط انجمن Konnex ایجاد شد. استاندارد KNX در ساختمان‌های مسکونی و تجاری برای کنترل یکپارچه سیستم‌های تهویه مطبوع، روشنایی، امنیتی، کنترل از راه دور، کنترل سایه‌بان‌ها و پرده‌ها، سیستم‌های مانیتورینگ و مدیریت انرژی استفاده می‌شود. برخی از مزایای پروتکل KNX به شرح زیر است:

- در حال حاضر میلیون‌ها تجهیز تحت این استاندارد نصب و راه‌اندازی شده‌اند که در حال خدمات‌رسانی هستند؛
- تمامی تجهیزات به صورت خاص برای اتوماسیون ساختمان طراحی و ساخته شده‌اند؛
- وجود یک نرم‌افزار واحد برای تمامی محصولات بدون توجه به کارخانه سازنده محصول؛
- استفاده از توپولوژی‌های درخت، خطی، ستاره یا هر ترکیب دیگری از توپولوژی‌های موجود؛

• قابلیت انتخاب میان واسط‌های ارتباطی؛

• قابلیت اتصال به سایر پروتکل‌ها از طریق درگاه‌های ارتباطی مختلف.

واسط‌های ارتباطی پروتکل KNX به شرح زیر است:

- استفاده از زوج سیم‌های به هم پیچیده (KNX TP): در این نوع ارتباط داده‌ها بر روی شبکه جداگانه‌ای انتقال می‌یابند. پیشنهاد می‌شود حداکثر طول خط از ۱۰۰۰ متر تجاوز نکند. در این حالت ساختار سلسله مراتبی میان خطوط و نواحی مختلف وجود دارد؛

- خطوط قدرت (KNX PL): در این حالت داده‌ها بر روی خطوط برق موجود انتقال می‌یابد؛

- فرکانس‌های رادیویی (KNX RF): اطلاعات از طریق سیگنال‌های رادیویی منتقل می‌شوند. ایجاد ارتباط به صورت یک‌طرفه یا دو طرفه امکان‌پذیر است؛

- اینترنت (KNXnet/IP): این واسط ارتباطی پرکاربرد در ارتباط با سایر واسط‌ها استفاده می‌شود و امکان مسیریابی داده‌های KNX را در قالب ساختارهای شبکه IP ایجاد می‌کند.

به لحاظ ارتباطات منطقه‌ای، KNX با استاندارد جهانی آمریکایی ISO/IEC 14543-3، استاندارد ANSI/ASHRAE 135، استاندارد کانادایی CSA-ISO/IEC 14543-3، استاندارد اروپایی CENELEC EN 50090 و CEN EN 13321-1 و

## ۳- راه کارهای هوشمندسازی با استفاده از پروتکل KNX برای کاهش مصرف آب

در پروژه‌های هوشمندسازی که از پروتکل KNX استفاده می‌شود، تعدادی ماژول، حسگر و ... تحت پروتکل KNX توسط کابل انحصاری این پروتکل یا سایر واسط‌های ارتباطی با حسگرها یا تجهیزاتی که به نحوی باید با این سیستم در ارتباط باشند و کنترل شوند، در یک شبکه قرار می‌گیرند. بنابراین اطلاعات توسط حسگرها دریافت و از طریق شبکه به ماژول‌های هوشمند هدایت می‌شوند. اطلاعات دریافتی در ماژول‌ها پردازش شده و بر اساس آن اقدام مناسب صورت می‌گیرد. در این بخش راه کارهای هوشمندسازی برای کاهش مصرف آب و همچنین نحوه پیادسازی آن‌ها توسط پروتکل KNX ارائه می‌شود. این راه کارها به سه دسته راه کارهای آبیاری، مسکونی و شهری تقسیم می‌شود.

### ۳-۱- روش‌های هوشمندسازی در آبیاری (کشاورزی و فضای سبز شهری)

روند رو به رشد جمعیت در کشور و افزایش میزان تقاضا برای تامین مواد غذایی از یک طرف و بحران شدید منابع آبی از سویی دیگر، موجب شده تا راه کارهای نوینی برای بهره‌وری بیشتر از زمین‌های زراعی و کاهش مصرف منابع آبی ارائه شود. میزان تولید انواع محصولات کشاورزی در کشور ۹۶ میلیون تن شامل محصولات زراعی و محصولات باغی است. به‌طور کلی آبیاری‌های نوین به شکل تحت فشار و به دو شکل کلی آبیاری قطره‌ای و بارانی انجام می‌شود. مشکلات این نوع آبیاری اغلب شامل هزینه اجرایی بالا، نگهداری سیستم به لحاظ فنی و سرویس دوره‌ای سیستم پمپاژ، نگهداری سیستم از نظر سرقت، آسیب فیزیکی، محدودیت پاشش آب‌پاش‌ها در طرح‌های کاشت تلفیقی، پاشش آب به خارج از فضای سبز در صورت عدم طراحی صحیح یا وزش باد شدید و در نتیجه هدررفت آب می‌شود (Al-Ghobari, 2018). بازدهی آبیاری بارانی تا ۷۰ درصد و آبیاری قطره‌ای تا ۹۵ درصد است. یعنی در سیستم آبیاری بارانی تا ۳۰ درصد و در سیستم آبیاری قطره‌ای تا ۵ درصد آب تلف می‌شود، در حالی که در آبیاری مزارع به‌روش سطحی حتی با انجام هزینه‌های گزاف و تسطیح اراضی راندمان آبیاری از ۵۰ درصد تجاوز نمی‌کند. در وضعیت سنتی که اکثر اراضی کشور ما به‌همین ترتیب آبیاری می‌شوند، این میزان حتی کمتر از ۳۵ درصد است. استفاده از آب

آبیاری را در کمینه دما انجام دهد تا از تبخیر آب جلوگیری به عمل آید و در فصل‌های سرد سال به منظور جلوگیری از یخ‌زدگی محصولات در بیشینه دما آبیاری انجام شود.

شکل ۱، پیکربندی KNX برای آبیاری هوشمند خاک را نشان می‌دهد. تجهیزات مورد نیاز برای پیاده‌سازی سیستم آبیاری هوشمند فضای سبز شهری با استفاده از پروتکل KNX به شرح ذیل است:

۱- عملگر سوئیچ (میزان ورودی این عملگر با توجه به تنوع

پوشش گیاهی به لحاظ نوع آبیاری تعیین می‌شود)؛

۲- منبع تغذیه؛

۳- ماژول اتصال به اینترنت؛

۴- نمایشگر کنترل مرکزی برای نظارت و ورود اطلاعات اولیه؛

۵- شیر برقی؛

۶- حسگر رطوبت سنج خاک؛

۷- حسگر سنجش دمای محیط؛

۸- حسگر تعیین شدت روشنایی؛

۹- بستر شبکه.

تعداد، نوع برنامه‌نویسی و نحوه ارتباط میان تجهیزات با توجه به محل تامین آب، کمیت و کیفیت آب قابل دسترس، گونه‌های مورد استفاده در طرح کاشت، پارامترهای مربوط به خاک و اقلیم منطقه تعیین می‌شود.

## ۳-۲- روش‌های هوشمند سازی مسکونی

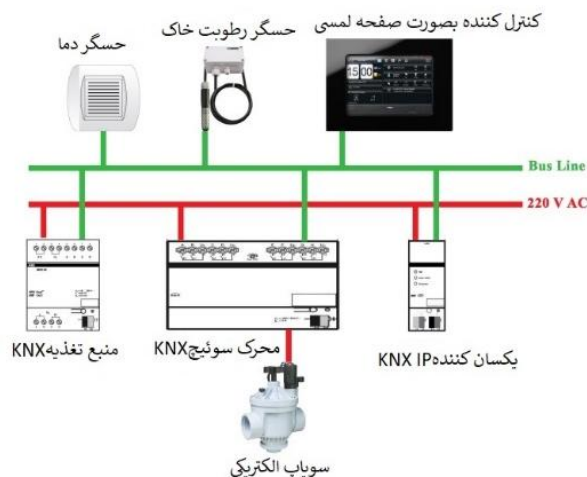
### ۳-۲-۱- هوشمندسازی توزیع آب

در یک شهر هوشمند خیابان‌ها و مناطق مختلفی وجود دارد. میزان آب مورد نیاز هر کدام، بسته به تراکم جمعیت، فصل و غیره متفاوت است. از طرفی میزان مصرف آب هر مشترک با توجه به تعداد افراد سکنه، وضعیت آب و هوایی و تغییرات جوی متفاوت است. مصرف آب در ایام تعطیل در خانه‌های مسکونی از آن‌جا که ماشین‌های لباس‌شویی، ظرف‌شویی و ... استفاده می‌شود بیشتر از سایر ایام است. روش‌هایی نیز مبتنی بر شبکه‌های عصبی (پاکدل، ۱۳۹۴) و تبدیل موجک (غلامی، ۱۳۹۴) برای پیش‌بینی میزان مصرف آب وجود دارد. به دلایل فوق‌الذکر، باید میزان مصرف هر مشترک با توجه به مکان و زمان، پیش‌بینی شود. با توجه به میزان تقاضا، توزیع هوشمند و پویای آب وجود داشته و کاربر باید بتواند بر نحوه مصرف خود کنترل داشته باشد.

شیرین برای آبیاری مزارع، آبیاری بیش از نیاز محصول و در نتیجه ایجاد روان‌آب‌ها، آبیاری در زمان نامناسب و ... از جمله دلایل اصلی در هدر رفت آب در بخش کشاورزی است.

از طرفی احداث فضای سبز یکی از مصداق‌های مهم توسعه شهری است. در دنیای صنعتی و مکانیزه امروزی، درختان شریان‌های حیات شهرها بوده و احداث فضاهای سبز برای سلامت روحی و جسمی جامعه، ضروری است. نگهداری این فضاها یکی از اصول اساسی در مدیریت فضای سبز محسوب شده که در این میان آبیاری یکی از نیازهای اولیه و اساسی در نگهداری است. در حال حاضر با توجه به شرایط اقلیمی، زیرساخت‌های موجود، بودجه و نوع بافت گیاهی مورد استفاده آبیاری در فضای سبز شهری به یکی از روش‌هایی از قبیل استفاده از تانکرهای سیار، به‌وسیله تانکرهای ثابت و استفاده از نیروی انسانی برای آبیاری از طریق شیرهای برداشت تعبیه شده، با استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار و سیستم‌های ترکیبی انجام می‌شود.

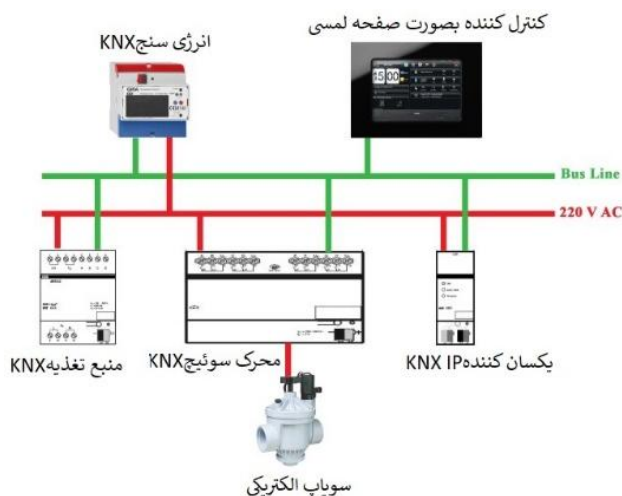
در یک زمین زراعی هوشمند حسگرهای رطوبت سنج به فواصل منظم درون خاک و در کنار محصولات کاشته شده مدفون می‌شوند. این حسگرها با استفاده از کابل کشی مخصوص در یک شبکه قرار می‌گیرند. به محض این‌که رطوبت درون خاک از سطح تعیین شده برای گیاه کاهش یابد حسگر مورد نظر پیغامی برای سیستم کنترل مرکزی ارسال می‌نماید. این پیغام روی نمایشگری (نمایشگرهای کنترل مرکزی یا نرم‌افزارهای کنترلی قابل نصب بر روی گوشی تلفن همراه) که در اختیار کشاورز قرار دارد نشان داده می‌شود. به محض دریافت پیغام کاهش رطوبت درون خاک توسط تعداد از پیش تعیین شده‌ای از حسگرهای درون خاک در هر ردیف از محصولات کاشته شده، ابتدا با استفاده از ماژول کنترل از راه دور، تغییرات جوی هوا براساس مدل‌های ارائه شده در سایت هواشناسی معتبر بررسی می‌شود. چنان‌چه براساس نقشه‌های هوایی در روزهای آینده احتمال بارندگی وجود داشت، آبیاری تا زمان مذکور به تاخیر می‌افتد (تعداد روزهای قابل تاخیر در آبیاری با توجه به نوع محصول توسط کشاورز مشخص می‌شود)، در غیر این صورت فرمان آبیاری به دریچه‌های شیر برقی ارسال شده تا عملیات آبیاری از درون خاک انجام شود. تا زمانی که میزان رطوبت خاک کمتر از آستانه رطوبت تعیین شده برای حسگرهای تعبیه شده درون خاک باشد، آبیاری ادامه می‌یابد. اما به محض ایجاد رطوبت کافی آبیاری بلافاصله متوقف شده تا از هدررفت آب جلوگیری شود. علاوه بر این می‌توان سیستم را به گونه‌ای تنظیم کرد تا آبیاری را براساس تغییرات دما در طول شبانه‌روز انجام دهد، به این صورت که در فصل‌های گرم سال



شکل ۱- پیکربندی پروتکل KNX در آبیاری هوشمند

ارسال می‌نماید. پس از این هشدار چنانچه جریان آب وصل شود، هزینه آب به‌ازای هر لیتر به‌صورت تصاعدی افزایش می‌یابد. شکل ۲، پیکربندی KNX را نشان می‌دهد. تجهیزات لازم برای این پیکربندی عبارتند از: ۱- عملگر سوئیچ؛ ۲- منبع تغذیه؛ ۳- ماژول اتصال به اینترنت؛ ۴- نمایشگر کنترل مرکزی برای نظارت و ورود اطلاعات اولیه؛ ۵- شیر برقی؛ ۶- انرژی سنج و ۷- بستر شبکه.

در یک ساختمان هوشمند اندازه‌گیر هوشمند آب، پس از لوله اصلی آب ورودی به مشترک نصب می‌شود، سپس با توجه به الگوهای مصرف آب، میزان آب مورد نیاز (با توجه به تعداد ساکنین و غیره) در طول یک شبانه‌روز تعیین می‌شود. چنانچه مصرف آب ساختمان از میزان تعیین شده بیشتر شود، اندازه‌گیر هوشمند آب با ارسال پیغامی به کنترلرها، جریان آب را قطع کرده و بر روی نمایشگرهای کنترلی یا تلفن همراه ساکنان پیام هشدار

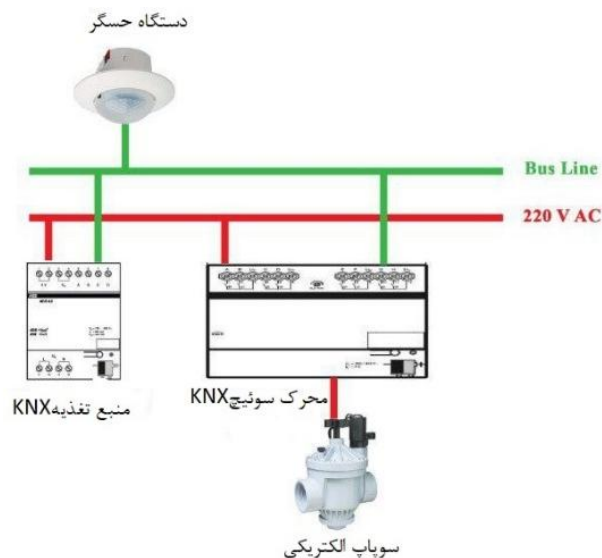


شکل ۲- پیکربندی پروتکل KNX برای اندازه‌گیری هوشمند آب

مجهز شده‌اند تا وصل و قطع آب بسته به حضور فرد در آن فضا صورت گیرد. شکل ۳، پیکربندی KNX در سیستم اتصال آب را نشان می‌دهد. تجهیزات مورد نیاز برای پیاده‌سازی سیستم هوشمند کنترل دمای آب در خانه‌های مسکونی با استفاده از پروتکل KNX به شرح ذیل است: ۱- عملگر سوئیچ؛ ۲- منبع تغذیه؛ ۳- ماژول اتصال به اینترنت؛ ۴- نمایشگر کنترل مرکزی برای نظارت و ورود اطلاعات اولیه؛ ۵- شیر برقی؛ ۶- حسگر تعیین حضور انسان و ۷- بستر شبکه.

### ۳-۲-۲- هوشمند سازی برقراری آب

میزان زیادی از آب آشامیدنی در ساختمان‌های مسکونی به دلیل بازگذاشتن غیرعادلانه، چکه کردن یا نشت آب بر اثر وجود خوردگی و فرسودگی و اشرفا در شیر آب است که اغلب در مکان‌هایی اتفاق می‌افتد که حضور افراد در آن نقاط از ساختمان همیشگی نیست (مانند سرویس‌های بهداشتی، حمام و...). چنین مکان‌هایی در ساختمان هوشمند به حسگرهای تشخیص حضور

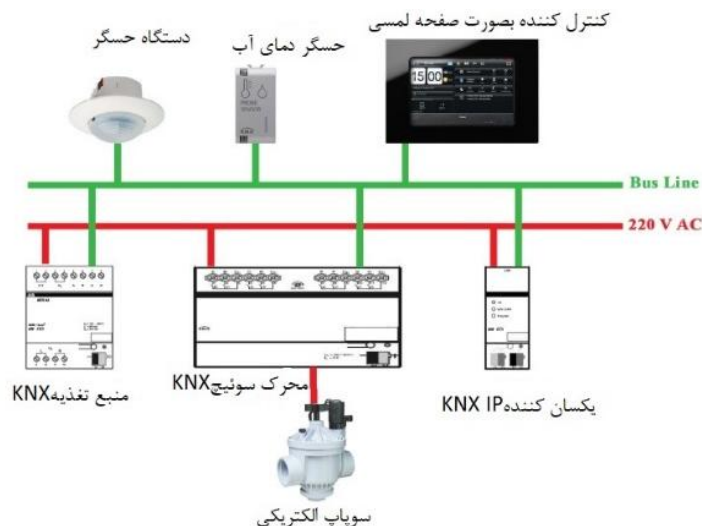


شکل ۳- پیکربندی KNX در سیستم اتصال آب

درجه حرارت آب مورد نظر را تعیین نموده، تا دمای آب درون لوله تا زمان رسیدن به دمای مطلوب از طریق سیستم تعبیه شده دوباره به سیستم آب شرب باز شود و پس از این که به دمای مورد نظر رسید در اختیار مصرف کننده قرار گیرد. بلوک دیاگرام و ساختار بندی پروتکل KNX به ترتیب در شکل ۴، نشان داده شده است.

### ۳-۲-۳- هوشمند سازی دمای مناسب آب

حدود ۶۰ درصد از آب آشامیدنی در منازل صرف شستشو (حمام، سینک ظرفشویی و ...) می شود. در هر بار شستشو بخشی از این آب مصرفی به منظور ایجاد دمای مطلوب به هدر می رود. لذا در ساختمان هوشمند با نصب حسگرهایی در خروجی شیر آب



شکل ۴- پیکربندی KNX در سیستم استحمام

### ۳-۳- تشخیص و اعلام هوشمند نشت آب در زیرساخت های شهری

بخش بزرگی از هدررفت آب در شهرها، به دلیل نشت آب در زیرساخت های شهری است (McDonald, 2014). همه روزه حجم زیادی از آب درون شبکه های توزیع آب شهری توسط پمپ ها با فشار بالا ارسال می شود. فشار دارای بیشترین و سریع ترین اثر

تجهیزات مورد نیاز برای پیاده سازی سیستم هوشمند کنترل دمای آب در خانه های مسکونی با استفاده از پروتکل KNX به شرح ذیل است: ۱- عملگر سوئیچ؛ ۲- منبع تغذیه؛ ۳- ماژول اتصال به اینترنت؛ ۴- نمایشگر کنترل مرکزی برای نظارت و ورود اطلاعات اولیه؛ ۵- شیر برقی؛ ۶- حسگر سنجش دمای آب؛ ۷- حسگر تعیین حضور انسان و ۸- بستر شبکه.

باشد. چنانچه مغایرت میان اعداد از حد تعیین شده تجاوز نماید، یک پیغام هشدار برای ناظر شبکه بر روی نمایشگر مرکزی ارسال می‌شود تا از وجود نشتی در شبکه توزیع مطلع شوند. همچنین شبکه حس گرهای نشت آب در اطراف زیرساخت شبکه توزیع قرار می‌گیرند. این حس گرها رطوبت خاک اطراف لوله‌ها را اندازه‌گیری می‌نمایند. چنانچه رطوبت خاک از حد استاندارد تعیین شده با توجه به اقلیم منطقه تجاوز نماید، پیغام هشدار برای مدیر شبکه ارسال می‌شود تا به‌سرعت نسبت به رفع نشتی اقدام شود.

برخی از قابلیت‌های سیستم هوشمند توزیع آب به شرح ذیل است:

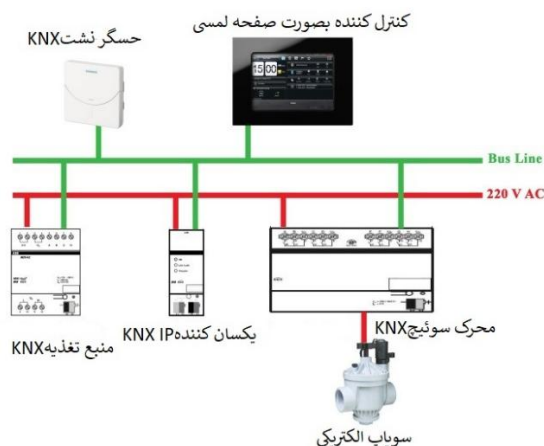
- امکان گزارش‌گیری از میزان آب مصرفی مشترکان در هر منطقه؛
- امکان گزارش‌گیری نشت آب به‌همراه مکان دقیق نشتی ایجاد شده؛
- امکان تنظیم برنامه زمان‌بندی از پیش تعیین‌شده برای کاهش یا افزایش فشار آب.

شکل ۵ پیکربندی پروتکل KNX برای تعیین هوشمند نشت آب را نشان می‌دهد. تجهیزات مورد نیاز برای پیاده‌سازی سیستم تشخیص نشت آب با استفاده از پروتکل KNX به شرح ذیل است:

- ۱- عملگر سوئیچ (میزان ورودی این عملگر با توجه به تنوع پوشش گیاهی به لحاظ نوع آبیاری تعیین می‌شود)؛
- ۲- منبع تغذیه؛
- ۳- ماژول اتصال به اینترنت؛
- ۴- نمایشگر کنترل مرکزی برای نظارت و ورود اطلاعات اولیه؛
- ۵- شیر برقی؛
- ۶- حسگر سنجش نشت آب و
- ۷- بستر شبکه.

هیدرولیکی بر روی مقدار نشت است (جعفری، ۱۳۹۵؛ سلطانی اصل، ۸۸). برخی از بخش‌های شبکه به‌مرور زمان و بر اثر فشار بالای آب درون لوله دچار فرسودگی و در نتیجه نشت آب می‌شوند. اگر آب از یک لوله شکسته به سطح بیاید، خرابی به آسانی آشکار می‌شود. اما اگر لوله در اعماق زمین آسیب ببیند، آب هرگز به سطح زمین نخواهد رسید و آشکارسازی و تعمیر بسیار سخت‌تر خواهد بود.

در یک شهر هوشمند با نصب حس گرهای تشخیص نشت آب در طول زیرساخت‌های آبرسانی و پمپ‌های کاهش فشار آب و ایجاد شبکه میان آن‌ها می‌توان تا حد زیادی از این اتلاف جلوگیری نمود. در برخی از ساعات شبانه‌روز میزان حجم آب مصرفی توسط کاربران کاهش می‌یابد، بنابراین چنانچه فشار آب درون لوله‌ها بیش از نیاز استفاده‌کنندگان باشد، نشت آب در زیرساخت‌های فرسوده شهری اتفاق می‌افتد. بنابراین با کاهش فشار آب در ساعات کم‌باری مصرف آب توسط مشترکان، تا حدود زیادی می‌توان از نشت آب جلوگیری نمود. ساعات کم‌باری و اوج مصرف مشترکان توسط اندازه‌گیرهای هوشمند آب اندازه‌گیری شده و اطلاعات حاصل از آن توسط شبکه سیستم هوشمند شهری به کنترلرها و نمایشگرهای مرکزی ارسال می‌شود تا در صورت نیاز، فشار آب توسط پمپ‌های تعبیه شده کاهش یا افزایش یابد. علاوه بر این در گرهای مختلفی از ساختار شبکه توزیع آب اندازه‌گیرهای هوشمند آب وجود دارند که میزان آب رسیده به آن گر را ثبت می‌نمایند. مجموع مقادیر آب پمپ شده در گرها با میزان آب خروجی از پمپ اصلی باید مطابقت داشته



شکل ۵- پیکربندی پروتکل KNX در تشخیص هوشمند نشت آب

#### ۴- نتیجه‌گیری

اشیاء می‌توان مدیریت آب را امکان پذیر نمود. در پژوهش انجام‌شده راه‌کارهای مبتنی بر فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات با امکاناتی نظیر ردگیری هرگونه نشتی، خودکارسازی سیستم‌های آبیاری، توزیع پویای آب و غیره در مدیریت هوشمند مصرف آب

مسئله آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در کل دنیا است. فن‌آوری‌های جدیدی در حال ظهور هستند که به‌واسطه اینترنت



۲۰(۳)، ۹۹-۱۰۴.

غلامی، ح.، قیامی، ع. و بینا، ک.، (۱۳۹۴)، "پیش‌بینی مصرف آب شرب شهر مشهد با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، همایش ملی مهندسی عمران و پژوهش‌های نیاز محور، مشهد.

همایی، م.ح.، فرهادی، ب. و کهوازاده، ا.، (۱۳۹۱)، "کاربرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌جهت تشخیص نشت و هدررفت آب در خطوط انتقال"، چهارمین کنفرانس مهندسی برق و الکترونیک ایران، گناباد.

Al-Ghobari, H.M., and Dewidar, A.Z., (2018), "Integrating deficit irrigation into surface and subsurface drip irrigation as a strategy to save water in arid regions", *Agricultural Water Management*, 209, 55-61.

Asalmol, M., Datar, M., Gawade, M., Patil, A., and Gulve, T., (2017), "Water management system for smart city using IoT", *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 3(11), 93-107.

Cocchia, A., (2014), *Smart and digital city: A systematic literature review*, In: Dameri R., Rosenthal-Sabroux C. (eds.), *Smart City*, Progress in IS, Springer, Cham, 13-43.

Curry, E., Hasan, S., Kouroupetroglou, C., Fabritius, W., Ul Hassan, U., and Derguech, W., (2018), "Internet of things enhanced user experience for smart water and energy management", *IEEE Internet Computing*, 22(1), 18-28.

Dickey, T., (2018), *Smart water solutions for smart cities*, *Smart City*, Progress in IS, Springer, Cham, 197-207.

Dogo, E.M., Salami, A.F., Nwulu, N.I., and Aigbavboa, C.O., (2019), "Blockchain and internet of things-based technologies for intelligent water management system", *Artificial Intelligence in IoT*, Springer, Cham., 129-150.

Hollands, R.G., (2008), "Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial?", *City*, 12(3), 303-320.

Ioan-Valentin, S., and Dobra, P., (2014), "KNX building automations interaction with city resources management system", *Procedia Technology*, 12, 212-219.

Jayalakshmi, M., and Gomathi, V., (2019), "Sensor-cloud based precision agriculture approach for intelligent water management", *International Journal of Plant Production*, 14(1), 1-10.

Karwot, J., Kaźmierczak, J., Wyczółkowski, R., Paszkowski, W., and Przystałka, P., (2016), "Smart water in smart city: A case study", *Proceedings of SGEM 16th International Scientific Conference on EARTH & GEOSCIENCES*, Vol. 3, Albena, Bulgaria.

Kumbhar, M.S., and Pratibha, S.Y., (2016), "Survey on technology tools for water and garbage management for smart city planning", *International Journal of Computer Applications*, 975, 8887.

Lázaro, J., Abejón, S., Astarloa, A., Chamorro, F., and

و کنترل ذخایر آبی ارائه شد. جدول ۲، خلاصه‌ای از راه کارهای ارائه شده را در بردارد. سیستم‌های پیاده سازی شده هوشمند در جهان، حاکی از کاهش تقریباً ۲۰ درصد مصرف آب است (Curry, (2018; Jayalakshmi, 2019; Xiye, 2020). برای ادامه پژوهش می‌توان به ترکیب پروتکل KNX با سایر پروتکل‌های هوشمندسازی و همچنین بهره‌گیری از فن‌آوری نوظهور بلاک‌چین در حوزه مدیریت مصرف آب اشاره کرد (Dogo, 2018)

جدول ۲- راه کارهای ارائه شده برای مدیریت بحران آب

آبیاری	تعبیه حس‌گرهای رطوبت سنج درون خاک برای آبیاری هوشمند
مسکونی	<ul style="list-style-type: none"> <li>• هوشمندسازی توزیع آب</li> <li>• هوشمندسازی برقراری آب</li> <li>• هوشمندسازی دمای مناسب آب</li> </ul>
شهری	تشخیص و اعلام هوشمند نشت آب

## ۵- پی‌نوشت‌ها

1- Information and Communication Technology

## ۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان، مراتب قدردانی خود را از پیشنهادهای ارزنده آقای دکتر ایمان قلندریان، در تدوین این مقاله اعلام می‌دارند.

## ۷- مراجع

پاکدل، م.، قیامی، ع. و بینا، ک.، (۱۳۹۴)، "پیش‌بینی مصرف آب شرب شهر مشهد با استفاده از موجک"، همایش ملی مهندسی عمران و پژوهش‌های نیاز محور، مشهد.

جعفری، ه.، (۱۳۹۵)، "مدیریت سیستم‌های حوادث و اتفاقات در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)"، همایش ملی بهره‌برداری در بخش آب و فاضلاب، همدان.

سرداری ح. و ملاحسینی اردکانی، م.، (۱۳۹۵)، "ارائه یک معماری مرجع مبتنی بر اینترنت اشیا برای مدیریت مصرف آب در ساختمان‌های هوشمند"، همایش ملی چشم‌انداز تکنولوژی کامپیوتر و شبکه در ۲۰۳۰، میبد.

سلطانی اصل، م. و فغفورمغربی، م.، (۱۳۸۸)، "مدیریت هوشمند فشار به‌منظور کاهش نشت در شبکه‌های آبرسانی، مطالعه موردی: منطقه سرافرازان مشهد"، مجله آب و فاضلاب،

- Bidarte, U., (2008), "SoPC implementation of the TP-KNX protocol for domotic applications", *Proceedings of International Conference on Advances in Electronics and Micro-electronics*, IEEE, Valencia, Spain.
- Lee, W.S., and Seung, H.H., (2009), "Implementation of a KNX-ZigBee gateway for home automation", *IEEE 13th International Symposium on Consumer Electronics*, Kyoto, Japan.
- Lee, W.S., and Seung, H.H., (2008), "KNX-ZigBee gateway for home automation", *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, Arlington, VA, USA.
- Lopez-Nicolas, A., Pulido-Velazquez, M., Rougé, C., Harou, J.J., and Escrivá-Bou, A., (2018), "Design and assessment of an efficient and equitable dynamic urban water tariff, Application to the city of Valencia, Spain", *Environmental Modelling and Software*, 101, 137-145.
- Loucks, D.P., and Eelco, V.B., (2017), *Water resource systems planning and management: An introduction to methods, Models and Applications*, Springer.
- Madani, K., (2014), "Water management in Iran: What is causing the looming crisis?", *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4(4), 315-328.
- McDonald, R.I., Weber, K., Padowski, J., Flörke, M., Schneider, C., Green, P.A., Gleeson, T., Eckman, S., Lehner, B., Balk, D., and Boucher, T., (2014), "Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure", *Global Environmental Change*, 27, 96-105.
- Priya, R., and Rameshkumar G.P., (2017), "A novel method to smart city's water management system with sensor devices and arduino", *International Journal of Computational Intelligence Research*, 13(10), 2391-2406.
- Ślawomir, S., and Gielniak, J., (2018), "Implementation of the lighting control algorithms in the KNX system", *ITM Web of Conferences*, Vol. 19, EDP Sciences.
- Taewoo N., and Theresa A.P., (2011), "Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions", *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*, New York, USA.
- Xiye, F., Xiaoyan, Y., Hailin, Z., Cuicui, J., Chunming, X., and Tan, C. (2020), "Research on intelligent water platform based on Cloud Computing", *Journal of Physics*, IOP Publishing, 1605(1), 12-21.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.