

## ارزیابی امکان استفاده از توان سیگنال دریافتی در پروتکل LoRaWAN برای تخمین رطوبت خاک در محیط‌های بیرونی و داخلی

علی دوکارد<sup>۱</sup>، احمد کشاورز<sup>۲\*</sup>، مجتبی منصورى نژاد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی مهندسی برق، دانشگاه خلیج فارس، Alidokard1125@gmail.com

<sup>۲</sup> عضو هیات علمی گروه مهندسی برق، دانشگاه خلیج فارس، a.keshavarz@pgu.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی مهندسی برق، دانشگاه خلیج فارس، Mojtabamansorinejad2000@gmail.com

**چکیده:** اهمیت روش‌های بهینه‌سازی آبیاری و افزایش بهره‌وری کشاورزی به دلیل افزایش جمعیت جهان و کاهش منابع غذایی، بی‌تردید بسیار حیاتی است. این مقاله، با تمرکز بر ارتباط بین درصد رطوبت خاک و میزان شدت توان دریافتی، سعی کرده است که روشی جدید برای ساخت سنسورهای رطوبت با هزینه ساخت، نصب و اجرای کم ارائه دهد. در این مقاله، با استفاده از دستگاهی که بر پایه پروتکل LoRa ساخته شده، همبستگی بین شدت توان دریافتی و رطوبت خاک، در حالتی که فاصله بین سنسور خاک شده و گیت وی زیاد باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. این مقاله امکان پذیر بودن تخمین رطوبت خاک با استفاده از شدت توان دریافتی در پروتکل LoRa را در دو محیط داخلی و بیرونی بررسی کرده و چالش‌های موجود در این زمینه را ارزیابی نموده است. تحلیل نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که رطوبت خاک و شدت توان دریافتی به صورت مستقیم با یکدیگر ارتباط دارند و از این جهت می‌توان آن را به عنوان معیاری قابل قبول برای اندازه‌گیری رطوبت در نظر گرفت.

**کلیدواژه‌ها:** توان سیگنال دریافتی، تخمین، LoRa، رطوبت خاک، کشاورزی هوشمند

### ۱- مقدمه

برای پاسخگویی به این نیازها، در این پژوهش، به ارائه رویکردی علمی و مبتنی بر فناوری اینترنت اشیا برای اندازه‌گیری رطوبت خاک پرداخته شده و از طریق بهره‌گیری از ارتباط بین توان دریافتی از یک فرستنده و پردازش داده‌های دریافت شده، سامانه‌ای برای اندازه‌گیری قابل قبول و پایدار رطوبت خاک طراحی و پیاده‌سازی شده است. برای ارزیابی سیستم پیشنهادی در دو محیط داخل ساختمان و فضای باز، داده‌ها در طی چند روز جمع‌آوری شده و مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه فرستنده در زیر خاک قرار گرفته است و آنتن آن تمام جهته می‌باشد، توان سیگنال دریافتی از آن علاوه بر میزان رطوبت خاک به عوامل مختلف محیطی مانند موانع موجود در مسیر انتشار، دما و رطوبت هوا بستگی دارد. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان با پردازش مناسب شدت توان سیگنال دریافتی، RSSI (Received Signal Strength Indicator)، با دقت قابل قبولی از آن برای تخمین رطوبت خاک در کشاورزی هوشمند استفاده کرد. در این مقاله، ابتدا به بررسی چالش‌های فعلی و معایب سنسورهای موجود می‌پردازیم و سپس رویکرد پیشنهادی را به‌طور کامل تشریح می‌کنیم. سپس نتایج آزمایش‌ها و مقایسه‌های انجام‌شده با روش‌های دیگر را ارائه می‌دهیم تا اثبات کنیم که رویکرد پیشنهادی امکان پیاده‌سازی عملیاتی را برای اندازه‌گیری رطوبت خاک ایجاد می‌کند.

با توجه به افزایش جمعیت جهان و کاهش منابع غذایی، بهبود صنعت کشاورزی از اهمیت بسیاری برخوردار است. از این رو، پیشرفت علمی در زمینه بهره‌وری بیشتر از مزارع و افزایش کیفیت محصولات امری ضروری به نظر می‌رسد. این پیشرفت‌ها با هدف کاهش مصرف غیرضروری منابع آبی، افزایش تراکم محصولات در زمین‌های کشاورزی و بهبود رطوبت خاک و pH خاک انجام می‌شود. در این راستا، یکی از چالش‌هایی که ممکن است باعث کاهش رشد گیاهان و یا پوسیدگی محصولات گردد، آبیاری نامناسب و خارج از دوره‌های مشخص است. از این رو، تحقیقات با هدف هوشمندسازی و بهینه‌سازی روش‌های آبیاری و کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند [۱]. تاکنون از سنسورهای متعددی برای اندازه‌گیری رطوبت خاک استفاده شده است. اما به دلیل مسائل گوناگونی مانند هزینه‌های بالای تهیه و نگهداری این سنسورها، آسیب‌پذیری و خرابی‌های مکرر ناشی از تماس مستقیم با خاک و رطوبت و نیاز به ایجاد شبکه تامین انرژی الکتریکی، استفاده از این سنسورها محدود بوده و نیاز به راهکارهای نوین و پیشرفته‌تری برای تولید سنسورهای کم هزینه برای اندازه‌گیری رطوبت خاک احساس می‌شود.

## ۲- محدودیت‌ها و مشکلات سنسورهای موجود اندازه گیری رطوبت خاک

یکی از مشکلات استفاده از سنسورهای رایج اندازه‌گیری رطوبت خاک، ایجاد زیرساخت برای ارسال اطلاعات آنها به سرور برای تصمیم‌گیری می‌باشد. علاوه بر این، این سنسورها برای استفاده نیاز به انرژی دارند که با توجه به اینکه باید مدت زمان زیادی در زیر خاک به کار روند، تامین زیرساخت لازم برای انرژی آنها هزینه بر است. این مسئله به خصوص در مزارع بزرگ شاخص‌تر خواهد بود و استفاده از این سنسورها را محدود می‌کند. تاکنون راهکارهای فراوانی برای ارسال اطلاعات سنسورها به صورت بیسیم مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال، تکنولوژی‌هایی نظیر WiFi، BLE و RFID مورد توجه بوده‌اند که پژوهش‌های بسیاری در ارتباط با این تکنولوژی‌ها صورت گرفته است. با این حال، این تکنولوژی‌ها به دلیل برد کوتاه آنها نتوانسته‌اند کاربرد وسیعی برای تخمین رطوبت خاک در مزارع بزرگ با هزینه مناسب داشته باشند [۲]. در برخی از تحقیقات سعی شده است که با استفاده از ارتباط بین توان دریافتی از یک فرستنده و میزان اتلاف آن در محیط‌های مرطوب، راهکاری برای اندازه‌گیری رطوبت ارایه شود. اما این روش با پروتکل‌های ارتباطی برد کوتاه کاربردی نبوده و مقرون به صرفه نیست. برای مثال در تکنولوژی RFID، نیاز به تگ‌های بسیار خاص و هزینه‌بر وجود دارد [۳] و در استفاده از BLE، هر گره، پوشش منطقه محدود و کوچکی از زمین را فراهم می‌کند، به‌طوری‌که میزان تعداد سخت‌افزارهای BLE مورد نیاز برای پوشش یک ناحیه بزرگ افزایش یافته و در نتیجه هزینه کلی افزایش می‌یابد. به همین دلیل نیاز به ابزاری با برد بالا، مصرف انرژی کم، در دسترس بودن مداوم و بهره‌وری مقرون به صرفه احساس می‌شود.

## ۳- تخمین رطوبت خاک بر اساس RSSI

در این بخش، به بررسی روش‌های تحلیل شدت توان سیگنال دریافتی برای تخمین رطوبت خاک پرداخته می‌شود. این پارامتر به شدت به شرایط محیطی وابسته است. با توجه به اینکه رطوبت خاک تأثیر مستقیمی بر روی میزان RSSI دارد، می‌توان با اندازه‌گیری مقادیر RSSI و مشخص نمودن ویژگی‌های محیطی، اطلاعات بیشتری درباره رطوبت خاک بدست آورد [۴]. برای دستیابی به این هدف، از الگوریتم‌های هوش مصنوعی مانند یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی و یادگیری عمیق استفاده

می‌شود. این الگوریتم‌ها می‌توانند با تحلیل داده‌های RSSI و ویژگی‌های محیطی مرتبط، رابطه میان این دو را شناسایی کنند و کمک کنند تا با دقت بیشتری رطوبت خاک، پیش‌بینی شود [۵]. این امر در واقع کمک می‌کند که سنسورهایی که به صورت مستقیم با خاک در ارتباط بوده و میزان رطوبت را اندازه می‌گیرند حذف شوند که می‌تواند تأثیر زیادی در هزینه نهایی داشته باشد. استفاده از این روش‌ها و تحلیل داده‌ها، این امکان را فراهم می‌آورند تا فرآیند کنترل آبیاری را بهبود بخشیده و مصرف آب بهینه‌تر شود. این امر به طور مستقیم منجر به افزایش بهره‌وری صنعت کشاورزی و کاهش هدررفت منابع آبی خواهد شد. یکی از مشکلات این روش‌ها، نیاز به وجود یک پروتکل ارتباطی برد بلند با مصرف انرژی کم است که بتواند برای مدت زمان زیادی در زیر خاک بدون نیاز به زیرساخت انتقال انرژی و با یک باتری ارزان ارسال اطلاعات را انجام دهد. یکی از پروتکل‌های ارتباطی با این ویژگی، که اخیراً در حوزه اینترنت اشیا بسیار مورد توجه قرار گرفته است، پروتکل ارتباطی LoRa می‌باشد.

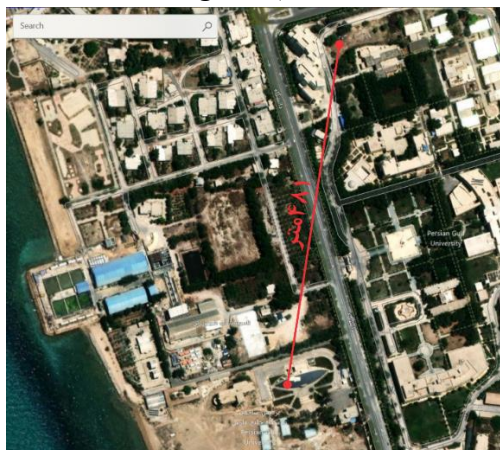
## ۴- اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از پروتکل LoRa

LoRa یکی از چند پروتکل اصلی برد بلند-کم توان می‌باشد که دلیل برد بالا و مصرف انرژی کم جای خود را در دنیای اینترنت اشیا باز کرده و در حال توسعه است [۶]. در این پروتکل، در حالت LoRaWAN، هر گره (node) به دروازه (gateway) متصل می‌گردد که هر دروازه قابلیت متصل شدن چندین گره را دارد. گره‌ها داده‌های خود را به دروازه ارسال می‌کنند و دروازه پارامترهای مشخصی از داده‌های دریافتی را محاسبه می‌کند؛ که یکی از این پارامترها RSSI است. در شکل ۱ ساختار کلی این شبکه نمایش داده شده است. در این مقاله سعی شده است که امکان استفاده از این پروتکل برای تخمین رطوبت خاک ارزیابی شده و مورد بررسی قرار گیرد.

### ۴-۱ نحوه جمع‌آوری داده

در این تحقیق برای جمع‌آوری داده لازم با استفاده از پروتکل LoRa از RAK811 استفاده شده است (شکل ۲ و ۳). این گره در زمان‌های مشخص داده‌ای را به دروازه ارسال می‌کند و توان سیگنال دریافتی توسط دروازه اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد. برای ارزیابی نتایج، هم‌زمان با ارسال داده توسط گره به دروازه، با استفاده از سنسور رطوبت خاک، میزان رطوبت اندازه‌گیری و ثبت می‌شود.

۴۸ متر (شکل ۴) می باشد، که با توجه به پژوهش های انجام شده در این فاصله؛ گره تا عمق ۶۵ سانتی متری زمین قادر به ارسال داده به دروازه است. در این تحقیق، گره در دو مکان مختلف از محیط دانشگاه خلیج فارس برای ارزیابی اثرات محیط داخلی و بیرونی نصب شد و جداگانه اقدام به جمع آوری داده شده است.



شکل ۴: نقشه فاصله گره تا دروازه

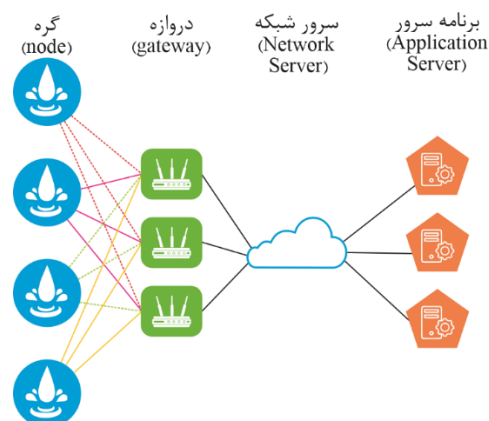


شکل ۵: نصب دستگاه در عمق ۲۵ سانتی متری

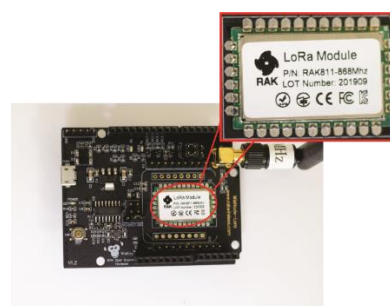
در محیط بیرونی برای اندازه گیری توان سیگنال، گره را در عمق ۲۵ سانتی متری از سطح زمین (شکل ۵) نصب کردیم. گره هر ۱۰ دقیقه یکبار (در محیط بیرون) داده ها را به دروازه ارسال و دروازه مقدار RSSI هر داده دریافتی را اندازه گیری و ثبت می کند.

## ۵- آزمایش ها

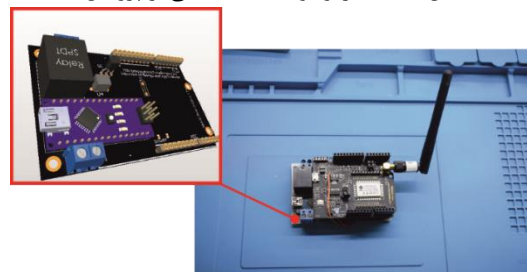
داده ها به وسیله ی دستگاه در دو محیط داخلی، (یک گلدان که در بالکن قرار داده شده بود) و محیط بیرونی جمع آوری شده است. در بخش بعد ابتدا به تحلیل نمونه های محیط داخلی و سپس



شکل ۱: نحوه کارکرد و ارسال داده از گره تا کاربر



شکل ۲: شیلد آردوینو RAK811 مبتنی بر پروتکل LoRa

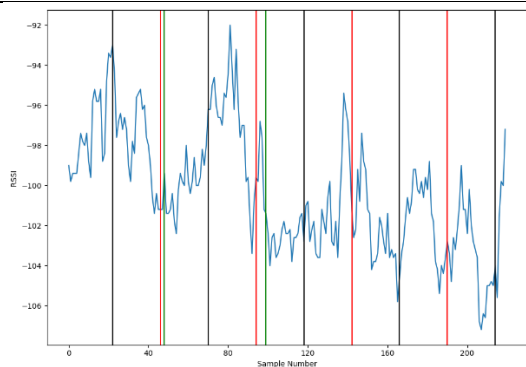


شکل ۳: گره ساخته شده

با توجه به اینکه تمامی وسایل الکترونیکی از جمله RAK811 به رطوبت حساس هستند و کمترین مقدار رطوبت، باعث آسیب شدید به دستگاه می شود؛ ساخت بدنه و عایق کاری نقش بسزایی در جلوگیری از این آسیب دارد. به همین دلیل بدنه دستگاه بهتر است عاری از هر گونه سطح زاویه دار باشد، که طرح نهایی به شکل تخم مرغ طراحی شده و با استفاده از پرینتر سه بعدی ساخته شده است (شکل ۵).

## ۴-۲ محل نصب گره LoRa

گره های LoRa با توجه به فاصله تا دروازه و شرایط محیطی از جمله نوع بافت شهری می توانند حداکثر در یک عمق خاصی از خاک نصب گردند. در این پژوهش فاصله گره تا دروازه



شکل ۶: نمودار RSSI برحسب زمان در محیط داخل

زیاد در روز دوم، متوسط توان دریافتی تا دو روز بعد نیز کم بوده و افزایش چندانی نداشته است. بنابراین مشخص است که توان دریافتی از نود ساخته شده می تواند تا حدود قابل قبولی نشان دهنده میزان رطوبت خاک باشد. در ادامه به بررسی دقیق تر داده ها در مدت روز و شب پرداخته خواهد شد. برای این منظور با توجه با شکل های ۷ و ۸ که RSSI ها در زمان شب و در دو حالت مرطوب و خشک را به نمایش می گذارد می توان تفاوت میان RSSI های ثبت شده توسط دروازه را مشاهده کرد. با توجه به نتایج حاصل شده می توان گفت که با افزایش رطوبت خاک توان سیگنال دریافتی توسط دروازه کاهش می یابد. (زیاد بودن مقدار محور عمودی که نشان دهنده خروجی سنسور رطوبت خاک است، خشک تر بودن خاک را نشان می دهد.) مشاهده می شود که تقریباً مقادیر RSSI بیشتر از ۱۰۰- نشان دهنده خشک بودن خاک و کمتر از آن نشان دهنده مرطوب بودن خاک است. حال نتایج بالا را برای زمان روز و در هر دو حالت خشک و مرطوب در شکل ۹ و ۱۰ بررسی می کنیم. در شکل های فوق، نمودارهای پراکنش برای مقادیر مختلف RSSI و خروجی سنسور رسم شده است که محور افقی RSSI و محور عمودی میزان خروجی سنسور را نمایش می دهد. همزمان با ارسال داده به دروازه از طریق گره، میزان رطوبت واقعی خاک ثبت گردیده است. در این حالت مشاهده می شود که در زمان روز و مرطوب بودن خاک، مقادیر بیشتر از ۱۰۰- هم وجود دارد. اما به صورت متوسط، بیشتر مقادیر برای خاک مرطوب دارای RSSI کمتر از ۱۰۰- هستند. به منظور بررسی میزان همبستگی تغییرات RSSI با رطوبت خاک، در شکل ۱۱ متوسط خروجی سنسور و متوسط توان سیگنال دریافتی در چهار بازه مختلف نشان داده شده است. در واقع بازه حداقل تا حداکثر مقادیر دریافت شده توسط سنسور رطوبت خاک در زمان آزمایش به چهار بخش تقسیم شده و سپس متوسط مقادیر خروجی سنسور و RSSI متناظر با آنها در هر بازه محاسبه شده

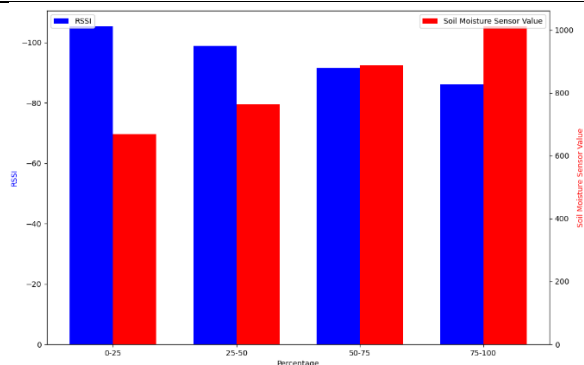
تحلیل نمونه های محیط بیرونی و در نهایت به بررسی نتایج پرداخته خواهد شد.

## ۵-۱- تحلیل نمونه های محیط داخلی

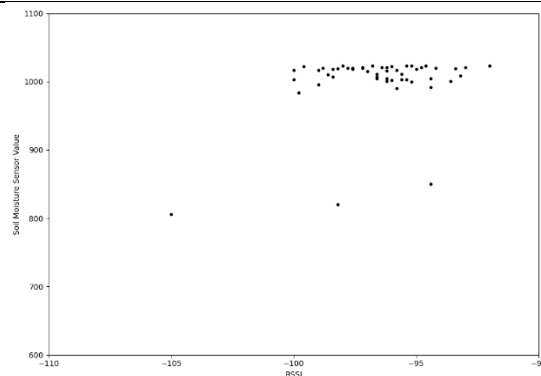
در این قسمت، ابتدا به بررسی تغییرات نمودار RSSI بر حسب زمان پرداخته می شود. شکل ۶ نمودار RSSI بر حسب زمان را در محیط داخل نشان می دهد. خطوط سبز، مشکی و قرمز به ترتیب نمایش دهنده سه مرحله شروع آبیاری، شب و روز هستند. شروع روز ساعت ۸ صبح و شروع شب ساعت ۲۰ در نظر گرفته شده است.

مقدار آبیاری در روز اول به میزان ۱/۵ لیتر تعیین شد. این آزمایش به ارزیابی نتایج آبیاری با میزان کم کمک کرده است. مقدار آبیاری در روز دوم به ۶ لیتر افزایش یافت تا تأثیر مقادیر مختلف آبیاری بر بازه های زمانی خشک شدن خاک و RSSI مورد بررسی قرار گیرد.

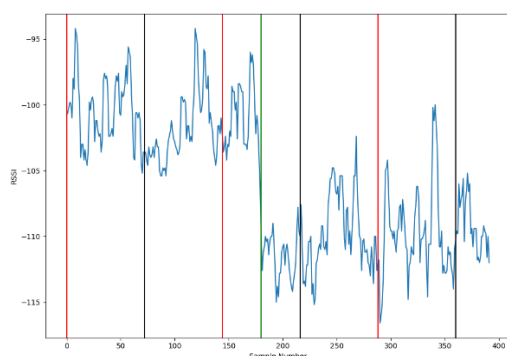
مشکلاتی همچون نویزهای ایجاد شده توسط جمعیت حاضر در اطراف دستگاه جمع آوری داده ها در توان سیگنال دریافتی ایجاد خطا می کند. این نویزها باعث کاهش ناگهانی مقدار RSSI می شوند. برای کمتر کردن اثر این موضوع و بررسی دقیق تر نتایج، در شعاع ۵ متری دستگاه در زمان جمع آوری داده ها ترددی صورت نگرفته است. به علت اینکه داده ها بصورت مستقیم به دروازه ارسال شده اند و فیلتری بر روی آنها اعمال نمی شد؛ در تمامی داده ها ۴ نمونه اول بررسی نشده است و از نمونه پنجم به بعد با استفاده از فیلتر میانگین گیر با پنجره ۵ داده ها فیلتر شده تا اثر تغییرات محیطی بر RSSI کاهش یابد و سپس داده فیلتر شده برای تخمین رطوبت مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمایش دستگاه هر ۳۰ دقیقه داده ای را به دروازه ارسال می کند. با توجه به شکل ۶ پس از شروع آبیاری و افزایش رطوبت خاک (خط سبز رنگ اول)، توان سیگنال دریافتی کاهش یافته و سپس با خشک شدن خاک شروع به افزایش می کند. در روز اول چون مقدار آبیاری کم بوده است، مشاهده می شود که بعد از خط سبز رنگ اول، توان دریافتی برای مدت زمانی در حد دو ساعت کم شده، و سپس با خشک شدن خاک گلدان، شروع به افزایش می نماید. لازم به توضیح است که با توجه به تفاوت متوسط توان دریافتی در شب و روز، مشاهده می شود که بعد از خط سیاه رنگ دوم، توان دریافتی علی رغم تقریباً ثابت بودن رطوبت خاک کم شده است. در روز دوم (بعد از خط سبز رنگ دوم) با توجه به وجود رطوبت روز قبل و آبیاری



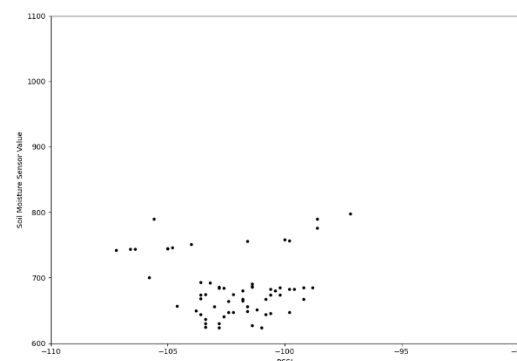
شکل ۱۱: متوسط خروجی سنسور و RSSI در بازه چارک های رطوبت خاک



شکل ۷: نمودار پراکنش میزان RSSI در زمان شب و خاک خشک



شکل ۱۲: نمودار RSSI برحسب زمان در فضای باز

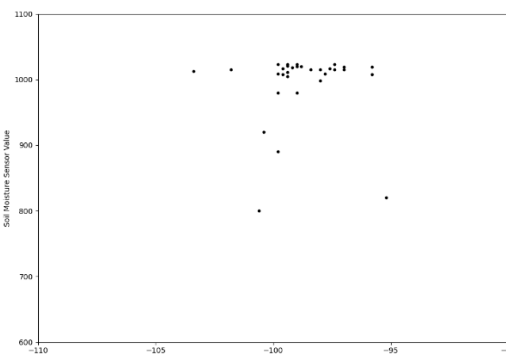


شکل ۸: نمودار پراکنش میزان RSSI در زمان شب و خاک مرطوب

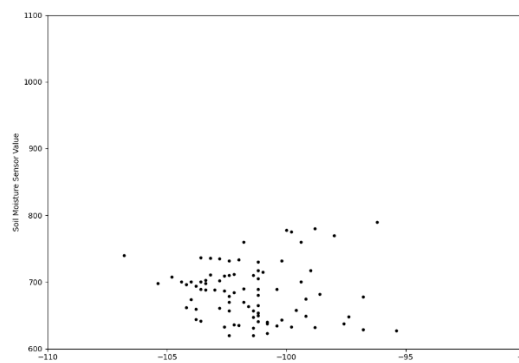
است. نمودار نشان می دهد که با افزایش خروجی سنسور که نشان دهنده خشک شدن بیشتر خاک است، مقدار متوسط توان دریافتی با همبستگی معناداری کاهش یافته است. در واقع می توان بازه مورد نظر آبیاری را به چهار سطح تقسیم کرد و سطح رطوبت را با مقدار RSSI با دقت مناسبی تخمین زد.

## ۲-۵- تحلیل نمونه های آزمایش در محیط بیرونی

در آزمایش قبل به دلیل قرار گرفتن سنسور در محیط داخل ساختمان و تا حدودی تاثیر حضور افراد، شدت تغییرات اتلاف مسیر بین نود و گیرنده زیاد بوده و نتایج دقت زیادی نداشتند. در آزمایش دوم برای محیط بیرونی، در فضایی با شعاع ۴۰ متری اطراف گره تردد افراد صورت نگرفته است. این موضوع منجر به بهبود چشم گیری در نتایج شده است. با توجه به شکل ۱۲، مشاهده می شود که این اقدام منجر به کاهش مناسب نوسانات مقادیر RSSI به دلیل نویزهای محیطی شده است. در این شکل نیز، زمان آبیاری و روز و شب با خطوط مشابه شکل ۵ نشان داده شده اند. در این آزمایش فقط یکبار آبیاری به مقدار زیاد و تقریباً بعد از گذشت یک روز و ۶ ساعت بعد از شروع جمع آوری RSSI انجام شده است. در این آزمایش به دلیل دسترسی نداشتن به برق



شکل ۹: نمودار پراکنش میزان RSSI در زمان روز و خاک خشک



شکل ۱۰: نمودار پراکنش میزان RSSI در زمان روز و خاک مرطوب



با مزارع کشاورزی و محیط‌های باز می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل رابطه بین RSSI و رطوبت خاک، نشان می‌دهند که این دو پارامتر با همبستگی مناسبی مرتبط هستند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که ارتباط بین RSSI و رطوبت خاک به میزانی است که می‌توان آن را به عنوان یک معیار قابل قبول برای اندازه‌گیری رطوبت در کشاورزی هوشمند در نظر گرفت.

### مراجع

- [1] M. Polinova, K. Salinas, A. Bonfante, and A. Brook, "Irrigation optimization under a limited water supply by the integration of modern approaches into traditional water management on the cotton fields," *Remote Sens (Basel)*, vol. 11, no. 18, p. 2127, 2019.
- [2] J. Ding and R. Chandra, "Towards low cost soil sensing using Wi-Fi," in *The 25th annual international conference on mobile computing and networking*, pp. 1–16, 2019.
- [3] R. Avanzato, F. Beritelli, G. Capizzi, C. Napoli, and C. Rametta, "Soil Moisture Estimation based on the RSSI of RFID Modules," in *2021 Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, pp. 647–652, 2021.
- [4] D. Kiv, G. Allabadi, B. Kaplan, and R. Kravets, "smol: Sensing soil moisture using lora," in *Proceedings of the 1st ACM Workshop on No Power and Low Power Internet-of-Things*, pp. 21–27, 2022.
- [5] L. D. Rodić, T. Županović, T. Perković, P. Šolić, and J. J. P. C. Rodrigues, "Machine learning and soil humidity sensing: Signal strength approach," *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, vol. 22, no. 2, pp. 1–21, 2021.
- [6] J. de Carvalho Silva, J. J. P. C. Rodrigues, A. M. Alberti, P. Solic, and A. L. L. Aquino, "LoRaWAN — A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities," in *2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech)*, pp. 1–6, 2017.
- [7] Bertocco, Matteo, Stefano Parrino, Giacomo Peruzzi, and Alessandro Pozzebon, "Estimating Volumetric Water Content in Soil for IoT Contexts by Exploiting RSSI-Based Augmented Sensors via Machine Learning" *Sensors* 23, no. 4: 2033, 2023. Doi: 10.3390/s23042033

در محل نصب نود LoRa، امکان استفاده از سنسور رطوبت خاک وجود نداشته است. مشاهده می‌شود که بعد از شروع آبیاری (خط سبز رنگ) توان دریافتی کاهش پیدا کرده و پس از آن با خشک شدن زمین، تقریباً شروع به افزایش کرده است. اما به دلیل آبیاری زیاد و خیس بودن زمین در دو روز بعد از آبیاری، سرعت زیاد شدن RSSI کم بوده که مطابق با انتظار می‌باشد. در کل متوسط RSSI قبل و بعد از آبیاری تفاوت معناداری دارد و نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که دستگاه مورد آزمایش، عملکرد بهتری را در شرایط فضای باز داشته است.

### ۶- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به بررسی رابطه بین درصد رطوبت خاک و میزان RSSI پرداخته شد، که یک گام مهم و ضروری در کشاورزی هوشمند است. با توجه به اهمیت بالای این کار و ضرورت حل مشکل هزینه‌بر برق رسانی به محیط‌های باز مانند مزارع کشاورزی به منظور استفاده از سنسور رطوبت خاک، یافتن راهکاری که باعث بهبود این موضوع و افزایش دقت و کارایی کارهای مرتبط با آن گردد، امری ضروری است. تحقیقات انجام شده در این زمینه عمدتاً بر مبنای فاصله نزدیک فرستنده و گیرنده بوده تا بتوانند تغییرات RSSI را کنترل نمایند [۳۷]. در این روش‌ها حداکثر فاصله بین فرستنده و گیرنده کمتر از ۱۰ متر است که عملاً نیاز به نصب یک گیرنده مجزا در نزدیک هر نود (سنسور رطوبت) دارد. نتایج حاصل از این روش‌ها، به دلیل فاصله نزدیک فرستنده و گیرنده و تأثیر کم تغییرات محیطی بر RSSI در گیرنده، نسبت به روش ارایه شده در این مقاله صحت عملکرد مطلوبتری دارند. اما به دلیل هزینه‌های بالای برق‌رسانی به تمام نقاط زمین و مشکلات استفاده از سیم‌کشی‌های معمول در محیط‌های با رطوبت بالا و انجام هزینه برای نصب گیرنده در نزدیک هر فرستنده (سنسور رطوبت) برای مزارع بزرگ مقرون به صرفه نیست. در این مقاله استفاده از RSSI دریافتی توسط گیت وی LoRa که در فاصله دور از محل نودهای خاک شده قرار دارد، به عنوان راه حلی کارآمد و منطقی برای حل این چالش‌ها پیشنهاد شده است. در عمل می‌توان برای یک مزرعه بزرگ یک گیت وی LoRaWAN را در محل مناسبی از مزرعه قرار داد و RSSI تمام نودها را دریافت کرد. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که هرچه محیط نصب دستگاه وسیع تر و بدون تأثیر عوامل خارجی باشد، خروجی دستگاه دقیق تر و تشخیص خشک و مرطوب بودن خاک ساده تر است. این امر به معنای افزایش کارایی و کاربردی تر شدن کارها و پروژه‌های مرتبط