

طراحی و ساخت یک سنجنده رطوبت خاک زمین‌مبنا به منظور تامین داده‌های واقعیت زمینی تصاویر سنجش از دوری

علی یونسی سینکی^۱، جلال امینی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
ali.younesi.313@ut.ac.ir

^۲ استاد، گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران
jamini@ut.ac.ir

(دریافت: مرداد ۱۴۰۲، تصویب: مهر ۱۴۰۳)

چکیده

رطوبت خاک متغیری بسیار مهم در مسائل هیدرولوژیکی است که در اموری مانند مدل سازی‌های هیدرولوژیکی و پیش بینی‌های کمی هواشناسی، بررسی مسائلی مانند خشکسالی، آتش سوزی جنگل‌ها، تغییرات اقلیم و مدیریت منابع آب، نقش بسیار مهمی دارد. در سالیان اخیر سنجش از دور به علت سرعت، بازدید منظم، پوشش وسیع و مقرون به صرفه بودن مورد توجه بسیاری از محققین در خصوص برآورد رطوبت خاک قرار گرفته است. حال یکی از دغدغه‌های اصلی متخصصین سنجش از دور در برآورد رطوبت خاک تامین داده‌های واقعیت زمینی می‌باشد. در این پژوهش به طراحی و ساخت یک سنجنده رطوبت خاک زمین‌مبنا پرداخته شد که قابلیت اندازه‌گیری رطوبت خاک، اطلاعات موقعیت مکانی، نمایش و ذخیره اطلاعات را دارد تا بدینوسیله بتوان داده‌های واقعیت زمینی رطوبت خاک را تامین نمود. با استفاده از این سنجنده، تصاویر سنجش از دوری و روش‌های هوش مصنوعی می‌توان رطوبت خاک را برای یک محدوده‌ی بسیار بزرگ برآورد نمود، بدین صورت که همزمان با گذر ماهواره از محدوده مورد نظر، با استفاده از سنجنده یک محدوده کوچک را برداشت نموده به آموزش مدل هوش مصنوعی انتخابی پرداخته خواهد شد و پس از آن، مدل آموزش دیده، رطوبت خاک را با استفاده از تصاویر سنجش از دوری برای محدوده مورد نظر برآورد می‌نماید. دانه بندی خاک، الکترولیت‌های خاک و دما از جمله مواردی هستند که بر روی اندازه‌گیری سنجنده تاثیر گذار هستند. لذا بررسی عوامل اثر گذار بر اندازه‌گیری سنجنده و تامین شرایط محیطی مناسب در فرایند آزمایشگاهی و کالیبراسیون سنجنده اهمیت بسیار بالایی دارد. طی فرایند آزمایشگاهی خواهیم دید عوامل موثر تحت کدام شرایط و تا چه میزان بر خروجی سنجنده اثر گذار خواهد بود. در فرایند کالیبراسیون سنجنده جهت تعیین درصد رطوبت وزنی خاک، یک مدل رگرسیون پلی نومیال درجه ۳، با دقت ۰.۹۵ درصد رطوبت وزنی خاک و ضریب تعیین ۹۷ درصد تعیین گردید.

واژگان کلیدی: رطوبت سنج، مدل رگرسیون، آنالیز حساسیت، کالیبراسیون، هوش مصنوعی

۱- مقدمه

در اختیار داشتن اطلاعات دقیق راجع به رطوبت خاک یکی از مهم ترین فاکتورها در تهیه طرحی جامع و مدون جهت مدیریت منابع آبی می باشد [۱]. رطوبت خاک یا محتوای آب موجود در خاک اغلب به عنوان میزان آب موجود در بین ذرات خاک تلقی می شود. از این کمیت به طور گسترده در مطالعه اثر متقابل بین زمین و اتمسفر استفاده می شود [۲]. پارامتر رطوبت خاک در مقیاسهای مختلف زمانی و مکانی از کاربرد گسترده ای در حوزه های مختلف علمی برخوردار می باشد [۳] که مهمترین آن ها عبارتند از پیش بینی تغییرات اقلیمی [۴] پیش بینی آب و هوا [۵] و مدلسازی هیدرولوژیکی [۶]. همچنین تخمین دقیق رطوبت خاک و تولید نقشه های تغییرات زمانی و مکانی آن نقش مهمی در بهبود روند پایش مسائل زیست محیطی مانند خشکسالی [۷] و سیل [۸] ایفا می نماید. اهمیت موضوع پایش رطوبت خاک به دلیل تأثیر آن بر چرخه آب با تأثیرگذاری بر میزان تقسیم بارش بین زمین (نفوذ و رواناب) و اتمسفر (تبخیر و تعرق گیاه) در جوامع علمی شناخته شده است. بنابراین آگاهی داشتن نسبت به وضعیت رطوبت خاک در زمینه هایی چون پیش بینی سیل خشکسالی، هواشناسی، اقلیم شناسی و کشاورزی حائز اهمیت است [۹].

تخمین رطوبت خاک مساله ای دشوار بوده که به طور سنتی به صورت زمینی وبا استفاده از نمونه برداری انجام شده است. با گذشت زمان و اختراع کاوشگرهای مدرن شاهد تسهیل در فرایند برآورد رطوبت خاک بوده ایم. در ادامه نصب کاوشگرهای دائمی یکی دیگر راه کارهای برآورد رطوبت خاک در مناطق بسیار کوچک بوده است ولی این راهکار در نواحی بزرگ عملی نمی باشد. علاوه بر این یکی از مشکلات اصلی در ارتباط با این کاوشگرهای زمینی این است که این اندازه گیری ها تنها برای ناحیه کوچکی از اطراف محل اندازه گیری معتبر بوده و تهیه نقشه رطوبت خاک با استفاده از اندازه گیری های زمینی سخت می باشد. [۱۰] با توجه به موارد ذکر شده در ارتباط با روشهای سنتی اندازه گیری رطوبت خاک، جامعه علمی اشتیاق فراوانی جهت استفاده از سنجش از دور در تخمین رطوبت خاک سطحی نشان داده است [۱۱]. محاسن استفاده از سنجش از دور در تخمین رطوبت خاک در مقابل روش های سنتی مانند سرعت،

بازدید منظم، پوشش وسیع و مقرون به صرفه بودن موجب توجه فراوان محققین به استفاده از این داده ها گردیده است [۱۲] تخمین پارامتر رطوبت خاک با استفاده از سنجش از دور در اوایل دهه هفتاد میلادی آغاز گردیده [۱۳] و تا به امروز یکی از زمینه های مهم تحقیقاتی می باشد.

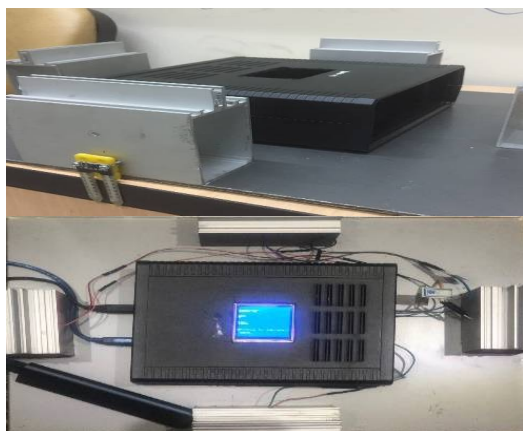
تاب و همکاران با معرفی TDR، سنجش رطوبت خاک را متحول کردند. در آن زمان، اولین ابزارهای TDR بسیار گران بودند و فقط برای اندازه گیری های آزمایشگاهی قابل استفاده بودند. از آن زمان، هزینه های دستگاه های TDR چندین مرتبه کاهش یافته است، در حالی که سنجنده های الکتریکی دیگر بر اساس مدارهای خازنی یا امپدانس نیز توسعه یافته اند. در نتیجه، در دهه گذشته، شرکت های متعددی سنجنده های مختلفی را بر اساس اندازه گیری های الکتریکی ضریب نفوذ خاک توسعه داده اند. گذردهی که ثابت دی الکتریک نیز نامیده می شود، اندازه گیری انرژی پتانسیل الکتریکی یک ماده تحت تأثیر میدان الکترومغناطیس است. میدان الکتریکی سنجنده الکتریکی عموماً در امتداد ۲ تا ۴ الکتروموازی یا یک جفت حلقه مجاور به خاک هدایت می شود. اندازه گیری میزان گذردهی تعیین بسیار دقیق محتوای آب در خاک را فراهم می کند زیرا گذردهی آب در حدود ۸۰ است، در حالی که گذردهی مواد جامد و هوا به ترتیب حدود ۴ و ۱ است [۱۴].

در سال ۲۰۲۱ محمد مخلصین و همکاران به بررسی تکنیک های برآورد رطوبت خاک به صورت مستقیم پرداختند، این تکنیک ها شامل روش های حجمی، ثقلی و پتانسیومتری می شود و در نهایت بر اساس شاخص های مزیت، محدودیت و زمان مقایسه و ارزیابی می گردند [۱۵].

انواگوو و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بررسی پارامترهای موثر بر اندازه گیری خاک پرداختند و با انجام آزمایشات مختلف پارامترهایی همانند شوری، مواد آلی، پارامترهای کلی فیزیکی، شیمیایی و ... را مورد بررسی قرار دادند [۱۶].

تخمین رطوبت خاک با استفاده از داده های سنجش از دور با استفاده از یک سری از مدل هایی که ارتباط دهنده ی مشاهدات سنجنده های سنجش از دوری و رطوبت خاک می باشند، مقدور می باشد. به همین دلیل تامین داده های واقعیت زمینی از جمله موارد بسیار ضروری در برآورد رطوبت خاک با استفاده از سنجش از دور می باشد.

مطابق شکل ۱ ساختار کلی سنجنده از یک پلت فرم کامپوزیتی که بر روی آن دستگیره‌های آلومینیومی و جعبه پلاستیکی قرار گرفته اند تشکیل شده‌است.



شکل ۱- نمای کنار و بالای سنجنده

دستگیره‌های آلومینیومی جهت حمل آسان تر سنجنده و قرار گرفتن کاوشگرهای رطوبت سنج بر روی آن تعبیه شده‌اند.

ماژول نمایشگر جهت نمایش اطلاعات بر روی جعبه پلاستیکی نصب گردیده‌است. جهت ارتباط با کاوشگرها و اتصال به منبع تغذیه دو خروجی بر دو وجه جعبه پلاستیکی در نظر گرفته شده‌است.

انتخاب بردها و ماژول‌های الکترونیکی، نحوه اتصال و کدنویسی در محیط نرم افزار آردوینو از موارد چالش برانگیز طراحی و ساخت سنجنده بود.

برد الکترونیکی Mega 2560 به عنوان برد مادر در این سنجنده مورد استفاده قرار گرفت. وظیفه این برد دریافت کلیه اطلاعات، پردازش و ارسال خروجی‌ها می‌باشد، بطوریکه اطلاعات از ماژول‌های GPS و رطوبت سنج دریافت شده و پس از پردازش‌های لازمه جهت نمایش اطلاعات به ماژول نمایشگر و جهت ذخیره سازی به ماژول ذخیره ساز هدایت می‌شود.

با توجه به اینکه تامین ولتاژ کلیه ماژول‌ها از طریق اتصال به برد مادر امکان پذیر نبود از یک برد الکترونیکی UNO جهت تامین ولتاژ عملیاتی ماژول‌ها استفاده شد.

ماژول YL-69 دارای ولتاژ عملیاتی 3.3 تا 5 ولت است و کاوشگر از دو پایه با فاصله 13 میلی‌متر نسبت به هم تشکیل شده‌است. بخش کیت PCB حاوی LM393 از یک سو شامل چهار پین (D0 ، VCC، GND و A0) است که شامل منبع

در این پژوهش به طراحی و توسعه یک سنجنده زمین مبنا که قابلیت اندازه گیری مقادیر رطوبت خاک، برآورد اطلاعات موقعیت مکانی ، نمایش و ذخیره اطلاعات را برای محدوده ای به ابعاد ۳۰ در ۳۰ سانتی متر را داشته باشد، پرداخته شد.

با استفاده از این سنجنده، تصاویر سنجنش از دوری و روش‌های هوش مصنوعی می‌توان رطوبت خاک را برای یک محدوده‌ی بسیار بزرگ برآورد نمود، بدین صورت که همزمان با گذر ماهواره از محدوده مورد نظر، با استفاده از سنجنده یک محدوده کوچک را برداشت نموده و ضمن آماده سازی داده‌ها جهت ترکیب شدن با تصاویر ماهواره‌ای سنجنش از دوری به آموزش مدل هوش مصنوعی انتخابی پرداخته خواهد شد و پس از آن، مدل آموزش دیده، رطوبت خاک را برای محدوده بسیار بزرگ با استفاده از تصاویر سنجنش از دوری برآورد می‌نماید.

۲- ویژگی‌های مورد نظر یک سنجنده رطوبت خاک

همانطور که در قسمت مقدمه ذکر شد تامین داده‌های واقعیت زمینی رطوبت خاک مساله ای بسیار مهم می‌باشد لذا طراحی و توسعه سنجنده‌ای که بتواند رطوبت خاک را با کمترین اثر پذیری از عوامل محیطی برآورد کند اهمیت بسیاری دارد. در ادامه در بخش آنالیز حساسیت بطور کامل به بررسی و اثرات این عوامل پرداخته خواهد شد. مساله مهم دیگر برآورد اطلاعات موقعیت مکانی با دقت و صحت مورد نظر می‌باشد.

نمایش اطلاعات به صورت آنی و ذخیره سازی داده‌ها با فرمت مد نظر از دیگر ویژگی‌های مدنظر جهت طراحی و توسعه سنجنده می‌باشد.

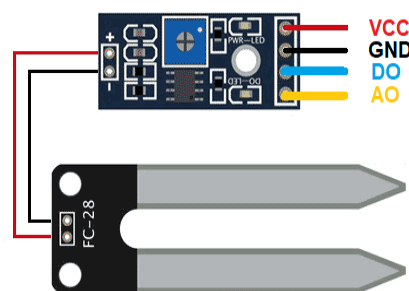
از دیگر ویژگی‌های مدنظر سنجنده قدرت پوشش مکانی سنجنده برای محدوده ای حداقل به ابعاد ۳۰ در ۳۰ سانتی متر و سهولت در حمل سنجنده است.

۳- طراحی و ساخت سنجنده

در روند طراحی و ساخت سنجنده ابتدا به طراحی و ساخت ساختار کلی سنجنده پرداخته شد.

تغذیه ورودی و خروجی، خروجی دیجیتال و آنالوگ است. از سوی دیگر نیز شامل دو پین است که به پروبی که در خاک قرار می گیرد، متصل می شود [۱۷].

کاووشگر YL-69 از دو الکتروود تشکیل شده است که برای اندازه گیری رطوبت خاک در اطراف خود، به کار می رود. برای این کار، جریانی از میان دو الکتروود و از میان خاک عبور داده می شود. میزان مقاومت موجود بین دو سر الکتروود و خاک بین آنها، برای اندازه گیری رطوبت خاک مورد اندازه گیری قرار می گیرد. در صورتی که خاک حاوی آب و رطوبت بیشتری باشد، میزان مقاومت کمتر خواهد بود و جریان بیشتری از خاک عبور خواهد کرد. عکس این قضیه هم صادق است؛ یعنی با کاهش رطوبت، میزان مقاومت بین دو الکتروود، افزایش پیدا می کند. این ماژول شامل هر دو خروجی دیجیتال و آنالوگ است. استفاده از خروجی دیجیتال ساده تر از استفاده از خروجی آنالوگ است ولی دقت خروجی آنالوگ بیشتر است. با توجه به اینکه پردازنده ATmega2560 به کار رفته در میکروکنترلر آردوینو حاوی یک تبدیل کننده آنالوگ به دیجیتال 6 کاناله 10 بیتی است، می تواند خروجی آنالوگ را خوانده و آنرا به صورت یک خروجی دیجیتال که بین 0 تا 1023 متغیر است، برگرداند. این مقدار هر چه بزرگتر باشد نشان دهنده میزان رطوبت کمتر است [۱۷ و ۱۸].



شکل ۲- ماژول رطوبت خاک

جهت دریافت اطلاعات مکانی از ماژول NEO6MV2 GPS استفاده شده است. ماژول های سری NEO-6 از خانواده گیرنده های GPS شرکت U-blox هستند که بر پایه موتور مکانیابی پر قدرت U-blox ۶ طراحی و تولید شده اند. این گیرنده های GPS بسیار انعطاف پذیر و قدرتمند هستند، به گونه ای که امکانات بسیاری را در ابعاد کوچک به کاربر ارائه می کنند. دقت برآورد اطلاعات مکانی این سنجنده در حدود ۱ تا ۵ متر می باشد [۱۹].

معمولا ذخیره کردن اطلاعات، یکی از اصلی ترین بخش های یک پروژه است. باتوجه به نوع اطلاعات و حجم آن ها، راه ها و وسایل مختلفی برای ذخیره ی آن ها وجود دارد. در این سنجنده از ماژول Micro SD TF جهت ذخیره سازی اطلاعات استفاده شده است. بطوریکه اطلاعات ماژول GPS و ماژول رطوبت خاک پس از پردازش در برد مادر جهت ذخیره سازی به این ماژول وارد شده و سپس در کارت حافظه Micro Sd ذخیره می گردند.

آگاهی داشتن از عملکرد سنجنده بصورت آنی مساله بسیار مهمی در عملیات برداشت رطوبت خاک می باشد، چراکه با آگاهی از اطلاعات میتوان عملکرد سنجنده را به صورت مرتب مورد ارزیابی قرارداد. اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی از ماژول GPS، اطلاعات مربوط به رطوبت خاک از طریق ماژول رطوبت خاک و انجام یا عدم انجام ذخیره سازی از طریق ماژول ذخیره ساز، با استفاده از ماژول نمایشگر LCD TFT 2.4 inch نمایش گذاشته خواهد شد.

۴- آنالیز حساسیت

همانطور که در بخش رطوبت خاک ذکر شد این سنجنده رسانایی یا به عبارتی مقاومت خاک را اندازه گیری می کند، حال در این بخش به عوامل تاثیر گذار بر این اندازه گیری را مورد بررسی قرار می دهیم.

رسانایی الکتریکی علاوه بر رطوبت خاک به عواملی همانند بافت خاک، الکترولیت های خاک و دما نیز وابسته است [۱۹-۲۱].

۴-۱- دما

هنگامی که دما افزایش می یابد، حرکت یون ها تحت پتانسیل الکترواستاتیک نیز افزایش می یابد که منجر به افزایش گذردهی الکتریکی می شود. در نتیجه هنگامی که دمای آب کمتر یا سردتر است، حرکت یون ها کندتر و غیرفعال می شود، بنابراین فعالیت کمتر باعث می شود رسانایی جریان کمتری داشته باشد و در نهایت گذردهی الکتریکی خاک را کاهش دهد [۱۹-۲۱].

۴-۲- بافت خاک

پارامترها ترکیب نسبی اجزای تشکیل دهنده خاک را بافت خاک گویند. مقادیر سه گروه اصلی اجزای تشکیل

دهنده خاک که شامل شن، سیلت و رس است را با تجزیه آزمایشگاهی خاک اندازه گیری می کنند؛ با تعیین این مقادیر و از روی مثلث بافت خاک، نوع بافت تعیین می شود. اندازه های مختلف ذرات خاک می تواند فضاهای مختلفی را برای خاک ایجاد کند تا ذرات آب را در خود نگه دارد. ماسه به دلیل درجه تماس سطحی پایینی که دارد نمی تواند رطوبت را خیلی خوب نگه دارد و دارای ضریب هدایت الکتریکی (EC) کمتری است در حالی که سیلت دارای EC متوسط است اما خاک غنی از خاک رس دارای ارزش EC بالاتری است زیرا بافت آن می تواند مقدار زیادی آب را در خود نگه دارد و می تواند منجر به سطح رطوبت بالا شود [۱۹-۲۱].

۴-۳- الکترولیت های خاک

وجود الکترولیت های قوی در خاک به علت افزایش وجود یون های آزاد در خاک باعث افزایش گذردهی الکتریکی خاک می گردد. بطور کلی خاک های دارای اسیدهای قوی و شوری بالا دارای بیشترین گذردهی الکتریکی و خاک های دارای اسیدهای ضعیف و شوری کم دارای پایین ترین گذر دهی می باشند بعضی از محلول ها هم به علت غیر الکترولیت بودن ، بدون گذردهی الکتریکی می باشند همانند آب مقطر و اتانول. [۱۹-۲۱].

۵- بررسی عوامل موثر بر اندازه گیری رطوبت خاک سنجنده

در این بخش با استفاده از روش آزمایشگاهی به بررسی عوامل: دما، بافت خاک و الکترولیت های آب خاک پرداخته می شود.

با توجه به اینکه هدف از اندازه گیری ، برآورد رطوبت خاک می باشد ، در هر بخش به اندازه گیری رطوبت وزنی خاک با شرایط گوناگون و مقایسه با مقادیر خروجی سنجنده پرداخته خواهد شد.

جهت برآورد رطوبت وزنی خاک مطابق با استانداردهای ASTM D 2216-90 و AASHTO T 265-81 عمل شد.

پس از تهیه ظرف استاندارد آلومینیومی آزمایش رطوبت خاک و اندازه گیری وزن آن، حدود ۲۰۰ گرم خاک را در داخل ظرف استاندارد آزمایش رطوبت خاک ریخته و در دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد حداقل به مدت ۱ ساعت در

یک فر معمولی (بدون امواج ماکروویو) خشک شد. سپس مجددا وزن خاک با ظرف درب دار را به وسیله یک ترازو با دقت ۰.۱ گرم اندازه گیری شد که این مقدار با کم کردن وزن ظرف درب دار برابر با وزن خاک خشک می باشد. پس از آن در هر مرحله از کار با اضافه کردن هر مقدار آب وزن خاک مرطوب را اندازه گیری نموده و مقدار رطوبت وزنی خاک را با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می گردد [۱۹-۲۱].

$$w = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) * 100 \quad (1)$$

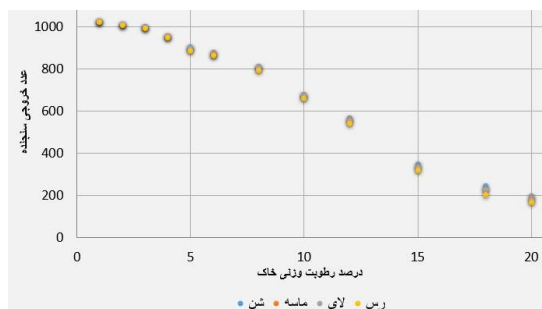
$$W_w = W_t - W_s \quad (2)$$

در رابطه ۱ و ۲، w برابر را درصد رطوبت وزنی خاک ، Ww وزن آب، Wt وزن خاک مرطوب، Ws وزن خاک خشک شده می باشد.

همانطور که در بخش طراحی و ساخت سنجنده و جزئیات ساختاری آن ذکر شد، برای اندازه گیری به سه بخش نیاز است. کاوشگر و کیت PCB مازول رطوبت سنج YL-69، میکروکنترلر آردوینو (که در این کار از آردوینو مدل نانو بهره گرفته شد) و در نهایت بخش کامپیوتر. بخش کاوشگر مازول رطوبت سنج باید داخل خاک قرار گیرد. خروجی آن نیز عددی بین 0 تا 1023 می باشد که با رطوبت خاک در ارتباط است. میکروکنترلر آردوینو، مقدار آنالوگ برگردانده شده توسط سنسور را به مقدار دیجیتال تبدیل می کند که در این کار، این مقدار به کامپیوتر منتقل می شود. کامپیوتر نیز سه نقش را بر عهده می گیرد. در ابتدا برای برنامه نویسی و انتقال این مقادیر به آردوینو، از آن استفاده می شود؛ در مراحل مشاهدات هم علاوه بر تامین انرژی (ولتاژ کولتی مورد نیاز کیت)، مقادیر حاصل از اندازه گیری توسط کیت به کامپیوتر منتقل می شود و توسط Serial Monitor نمایش داده می شود.

۵-۱- اثر دما

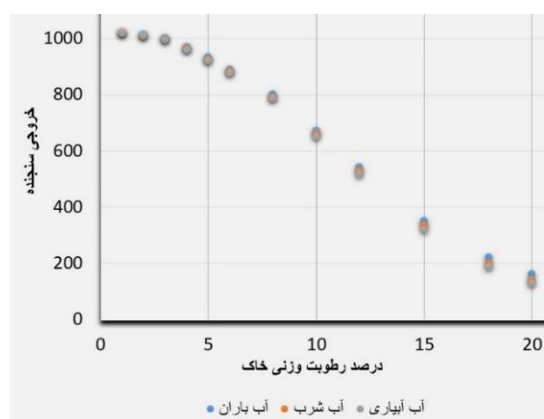
جهت بررسی اثر دما بر مقدار خروجی سنجنده آب در دماهای ۵۰، ۲۵، ۳۵ و ۸۰ درجه سانتی گراد به خاک اضافه شد و سپس مقادیر خروجی را با یکدیگر مقایسه گردید که در نتیجه تغییری محسوس میان دماهای ۸ و ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی گراد مشاهده نشد اما در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد در رطوبت های بالای ۱۵ درصد رطوبت وزنی خاک خروجی



شکل ۴- نمودار درصد رطوبت وزنی و عدد خروجی سنجنده برای بافت‌های مختلف خاک

۳-۵- اثر الکترولیت‌های خاک

جهت بررسی الکترولیت‌های آب خاک از سه نمونه ی: آب شرب، آب باران و آب آبیاری (آب چاه) استفاده شد. همانطور که در شکل شماره ۵ مشاهده می‌کنید تفاوت قابل توجه میان خروجی‌های سنجنده در درصد‌های رطوبت متفاوت وجود ندارد ولی در رطوبت بالای ۱۲ درصد خروجی سنجنده در نمونه آب باران عدد بیشتری را در مقایسه با دو نمونه دیگر نشان می‌دهد.



شکل ۵- نمودار درصد رطوبت وزنی و خروجی سنجنده جهت بررسی اثر الکترولیت بر روی رطوبت خاک

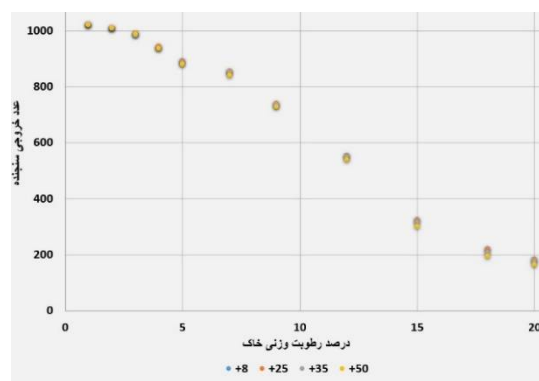
۶- کالیبراسیون سنجنده و مدل سازی

فرآیند کالیبراسیون سنجنده شامل بخش‌های تعیین محدوده مورد مطالعه، نمونه برداری، عملیات آزمایشگاهی، مدل سازی رگرسیون و ارزیابی نتایج می‌شود.

۱-۶- تعیین محدوده مورد مطالعه

با توجه به دسترسی آسان و وجود انواع زمین‌های کشاورزی و بایر در جنوب شهر تهران (محدوده شهرستان

سنجنده کمتر از مقادیر دماهای دیگر مشاهده شد. (در حدود ۲۰ عدد کمتر از مقادیر دیگر) شکل شماره ۳ مقایسه نتایج دماهای مختلف را به نمایش می‌گذارد.



شکل ۳- نمودار درصد رطوبت وزنی و عدد خروجی سنجنده برای خاک مرطوب در دماهای متفاوت

۵-۲- اثر بافت خاک

در این بخش در ابتدا با استفاده از روش دانه بندی خاک با الک خاک مد نظر را به دو دسته اصلی درشت دانه و ریز دانه و چهار بخش: (۱) شن و (۲) ماسه که جز دسته درشت دانه می‌باشند و (۳) لای و (۴) رس که جز دسته ریز دانه می‌باشند، تقسیم می‌نماییم. خاک شنی شامل ذراتی با اندازه بزرگ تر از ۴.۷۵ میلی متر، خاک ماسه ای با اندازه ای مابین ۴.۷۵ تا ۰.۰۷۵ میلی متر، لای با اندازه ای مابین ۰.۰۷۵ تا ۰.۰۰۲ میلی متر و خاک رسی با اندازه ای مابین ۰.۰۰۲ تا ۰.۰۰۱ میلی‌متر می‌باشد. سپس مشابه بخش بررسی اثر دما به بررسی مقادیر خروجی سنجنده در درصد‌های رطوبت وزنی مشابه برای هر چهار گروه خاک می‌پردازیم.

مطابق شکل شماره ۴ خواهیم دید که در رطوبت‌های کمتر از پنج درصد تفاوتی میان عدد خروجی نمونه‌ها وجود نداشته اما رفته رفته در رطوبت‌های بالاتر شاهد اختلاف بیشتری میان عدد خروجی سنجنده مخصوصا میان نمونه خاک رسی و شنی خواهیم بود.

لازم به ذکر است به دلیل اینکه خاک‌های موجود در طبیعت ترکیب چهار مدل خاک بالا هستند میتوان به یک مدل واحد برای یک محدوده وسیع با بافت خاک تقریبا یکسان جهت برآورد رطوبت خاک دست یافت. در بحث کالیبراسیون سنجنده خواهیم دید با توجه به نمونه برداری از مناطق متفاوت یک مدل واحد می‌تواند دقت بسیار خوبی در برآورد رطوبت خاک نمونه‌های مختلف داشته باشد.

اسلامشهر) این محدوده به عنوان محدوده مورد مطالعه تعیین گردید.



شکل ۶- محدوده مورد مطالعه
(<https://earth.google.com/web>)

مطابق شکل ۳ محدوده مورد مطالعه به دو قسمت محدوده با خاک بایر و محدوده با خاک کشاورزی تقسیم می‌گردد.

۲-۶- نمونه برداری

همانطور که در بخش تعیین مورد مطالعه ذکر شد محدوده به دو قسمت محدوده با خاک بایر و محدوده با خاک کشاورزی تقسیم شده است. عملیات نمونه برداری شامل ۴ نمونه خاک می‌باشد که دو نمونه از محدوده با خاک بایر و دو نمونه از محدوده با خاک کشاورزی برداشت شده است.

خاک‌های مربوط به محدوده بایر تقریباً ماسه ای و خاک‌های مربوط به محدوده کشاورزی تقریباً ماسه ای متمایل به لای هستند. خاک مربوط به محدوده کشاورزی به علت همراه داشتن کودهای آلی و شیمیایی دارای خواص آلی و شیمیایی نیز می‌باشد.



شکل ۷- محدوده با خاک بایر
(<https://earth.google.com/web>)

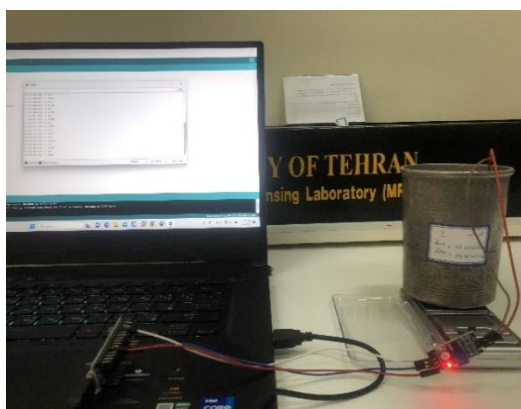


شکل ۸- نمونه برداری از محدوده با خاک کشاورزی
(<https://earth.google.com/web>)

پس از نمونه برداری خاک نمونه‌های از آب باران منطقه و آب آبیاری منطقه نیز گرفته شد.

۳-۶- عملیات آزمایشگاهی

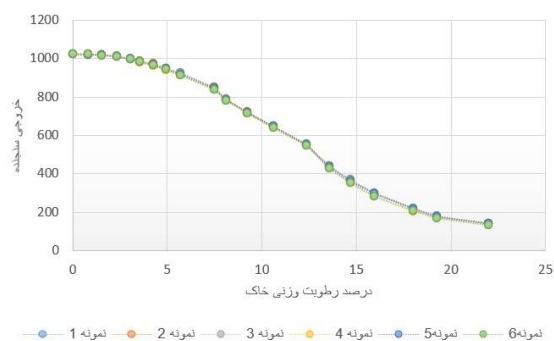
فرآیند عملیات آزمایشگاهی همانند بخش آزمایشگاهی بررسی عوامل موثر بر اندازه گیری رطوبت خاک سنجنده می‌باشد. با این توضیح که مقدار خروجی سنجنده با رطوبت‌های وزنی ۶ نمونه ی : ((نمونه ۱ خاک بایر مرطوب شده با آب باران(نمونه ۱)، نمونه ۲ خاک بایر مرطوب شده با آب باران(نمونه ۲)، نمونه ۳ خاک کشاورزی مرطوب شده با آب باران(نمونه ۳)، نمونه ۴ خاک کشاورزی مرطوب شده با آب آبیاری(نمونه ۴)، نمونه ۵ خاک کشاورزی مرطوب شده با آب باران(نمونه ۵) و نمونه ۶ خاک کشاورزی مرطوب شده با آب آبیاری(نمونه ۶)) مقایسه می‌شود.



شکل ۹- انجام عملیات آزمایشگاهی

پس از ثبت و بررسی نتایج آزمایشگاهی(شکل ۱۰) به این مهم دست پیدا شد که برای هر ۶ نمونه تفاوت چندانی میان خروجی‌های سنجنده در رطوبت‌های وزنی مختلف

وجود ندارد با این توصیف می‌توان از یک مدل رگرسیون یکسان جهت برآورد رطوبت وزنی خاک استفاده نمود.



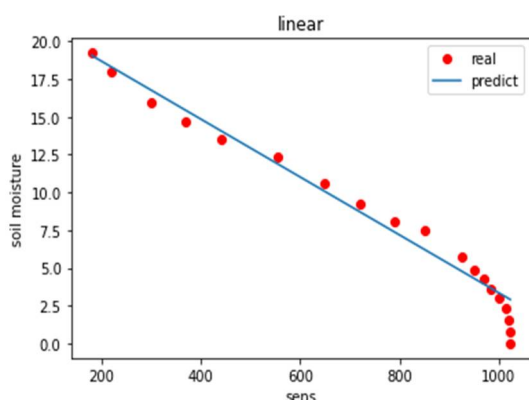
شکل ۱۰- نمودار درصد رطوبت وزنی خاک و خروجی سنجنده برای نمونه‌های مختلف

۴-۶- مدل‌سازی رگرسیون

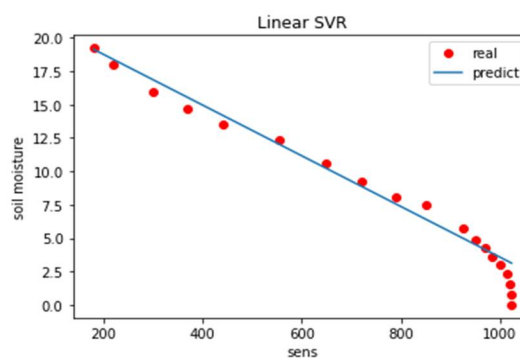
پس از ثبت نتایج می‌بایست به یک مدل جهت برآورد درصد رطوبت وزنی خاک با استفاده از مقادیر خروجی سنجنده دست پیدا کنیم.

جدول ۱- نتایج روش‌های مختلف‌سازی و کالیبراسیون سنجنده

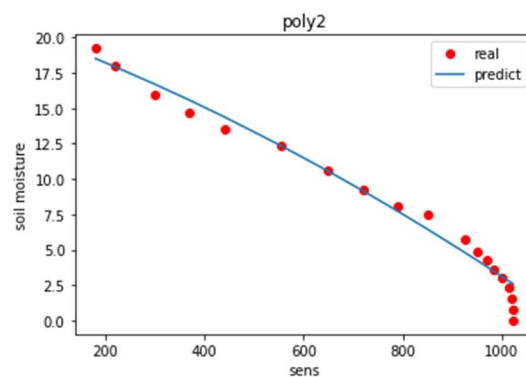
نام روش	مدل روش	RMSE Test برحسب درصد رطوبت وزنی	RMSE Train برحسب درصد رطوبت وزنی	R2 Train برحسب درصد	R2 Test برحسب درصد
SVR	Linear	۲.۸۳	۰.۵۵	۹۸	۹۰
خطی	$Y=ax+b$	۲.۴۶	۰.۵۲	۹۸	۹۱
چندجمله‌ای درجه ۲	$Y=a.x^2+b.x+c$	۱.۸۸	۰.۴۱	۹۸.۷	۹۴
چندجمله‌ای درجه ۳	$Y=a.x^3+b.x^2+c.x+d$	۰.۹۵	۰.۰۷	۹۹.۷	۹۶.۷



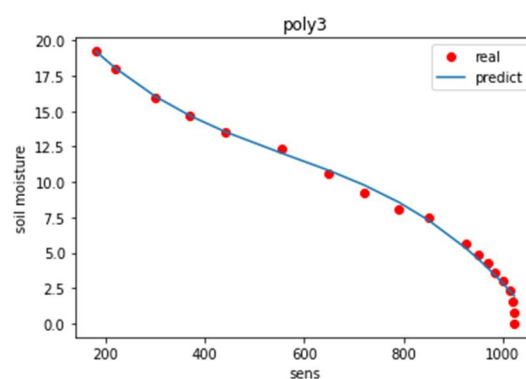
شکل ۱۲- نمایشگر نتایج روش خطی



شکل ۱۱- نمایشگر نتایج روش رگرسیون بردار پشتیبان خطی



شکل ۱۳- نمایشگر نتایج روش چند جمله ای درجه ۲



شکل ۱۴- نمایشگر نتایج روش چند جمله ای درجه ۳

۷- نتیجه گیری

سنجنده رطوبت خاک زمین مبنا با موفقیت مراحل آزمایشی خود را پشت سر گذاشت و طراحی و ساخت آن به مدت ۲ سال بطول انجامید. در طی مراحل کالیبراسیون

مراجع

- [1] Heathman, G. C., Starks, P. J., Ahuja, L. R., & Jackson, T. J. (2003). Assimilation of surface soil moisture to estimate profile soil water content. *Journal of Hydrology*, 279(1-4), 1-17.
- [2] Bruen, M. (2000). Using radar information in hydrological modeling: COST 717 WG-1 activities. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25(10-12), 1305-1310.
- [3] Wilder, P., Su, Z., Robeling, R. A., Schulz, J., Holleman, I., Levizzani, V., ... & Wang, L. (2011). *Observation of hydrological processes using remote sensing* (No. GSFC. BOOK. 5769.2011).
- [4] Ni-Meister, W., Walker, J. P., & Houser, P. R. (2005). Soil moisture initialization for climate prediction: Characterization of model and observation errors. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D13).
- [5] Andreadis, K. M., & Schumann, G. J. (2014). Estimating the impact of satellite observations on the predictability of large-scale hydraulic models. *Advances in water resources*, 73, 44-54.
- [6] Houser, P. R., Shuttleworth, W. J., Famiglietti, J. S., Gupta, H. V., Syed, K. H., & Goodrich, D. C. (1998). Integration of soil moisture remote sensing and hydrologic modeling using data assimilation. *Water resources research*, 34(12), 3405-3420.
- [7] Yang, S. E., & Wu, B. F. (2010, January). Agricultural drought monitoring using web-serviced remote sensing data. In *2010 International Conference on e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning* (pp. 532-535). IEEE.

سنجنده اثرات بافت، دما و الکترولیت های خاک مورد آزمایش قرار گرفت و مطابق نتایج بدست آمده: (۱) اثر دما در رطوبت های بالاتر از ۱۵ درصد تاثیر گذار است. (۲) در رطوبت های بالاتر از پنج درصد اثر بافت خاک مشهود است. (۳) الکترولیت های موجود در خاک در رطوبت های بالاتر از ۱۲ درصد اثرگذاری مشهودی دارند. جهت استفاده از داده های سنجنده به عنوان داده های واقعیت زمینی تصاویر سنجنش از دوری با توجه به اینکه خاک های موجود در طبیعت معمولا ترکیبی از بافت های به خصوص می باشند و به شرط وجود شرایط یکسان محیطی می توان از یک مدل واحد جهت برآورد رطوبت خاک موجود در طبیعت استفاده نمود.

همانطور که در بخش مدل سازی رگرسیون ذکر شد کرنل های RBF، poly و sigmoid روش رگرسیون بردار پشتیبان و شبکه عصبی MLP به علت سادگی و محدود بودن داده ها در عملیات مدل سازی ناموفق بودند، و مطابق جدول شماره ۱ و شکل های شماره ۱۱ تا ۱۴ کرنل خطی رگرسیون بردار پشتیبان پایین ترین دقت و مدل چند جمله ای درجه ۳ دارای بالاترین دقت بودند.

با توجه به دقت بالای سنجنده در تخمین رطوبت خاک و دریافت اطلاعات مکانی و قابلیت نمایش و ذخیره سازی اطلاعات، و همچنین مقرون به صرفه بودن این سنجنده نسبت محصولات مشابه خود از برتری قابل توجهی نیز برخوردار است.

- [8] Aubert, D., Loumagne, C., & Oudin, L. (2003). Sequential assimilation of soil moisture and streamflow data in a conceptual rainfall-runoff model. *Journal of hydrology*, 280(1-4), 145-161.
- [9] Berthet, L., Andréassian, V., Perrin, C., & Javelle, P. (2009). How crucial is it to account for the antecedent moisture conditions in flood forecasting? Comparison of event-based and continuous approaches on 178 catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(6), 819-831.
- [10] Attarzadeh, R., Amini, J., Notarnicola, C., & Greifeneder, F. (2018). Synergetic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data for soil moisture mapping at plot scale. *Remote Sensing*, 10(8), 1285.
- [11] Wang, L., & Qu, J. J. (2009). Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Frontiers of Earth Science in China*, 3, 237-247.
- [12] Baghdadi, N., & Zribi, M. (2006). Evaluation of radar backscatter models IEM, OH and Dubois using experimental observations. *International Journal of Remote Sensing*, 27(18), 3831-3852.
- [13] Schmugge, T. J., Kustas, W. P., Ritchie, J. C., Jackson, T. J., & Rango, A. (2002). Remote sensing in hydrology. *Advances in water resources*, 25(8-12), 1367-1385.
- [14] Hohenbrink, T. L., & Lischeid, G. (2015). Does textural heterogeneity matter? Quantifying transformation of hydrological signals in soils. *Journal of Hydrology*, 523, 725-738.
- [15] Mukhlisin, M., Astuti, H. W., Wardihani, E. D., & Matlan, S. J. (2021). Techniques for ground-based soil moisture measurement: a detailed overview. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-34.
- [16] Nwogwu, N. A., Okereke, N. A. A., Ohanyere, S. O., & Chikwue, M. I. (2018). A concise review of various soil moisture measurement techniques. In *Proceedings of the 3rd South East Regional Conference, 27th-30th August*.
- [17] <https://docs.arduino.cc/static/7d3b7708279c4c11f34247f8bcd9061c/A000067-datasheet.pdf>
- [18] <https://kysungheo.com/wp-content/uploads/2022/07/instructions.261306374.pdf>
- [19] https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf
- [20] کامبیز بهنیا، امیر محمد طباطبایی، (۱۳۹۱). کتاب مکانیک خاک، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- [21] Othaman, N. N., Isa, M. N., Ismail, R. C., Ahmad, M. I., & Hui, C. K. (2020, January). Factors that affect soil electrical conductivity (EC) based system for smart farming application. In *AIP conference proceedings* (Vol. 2203, No. 1). AIP Publishing.
- [22] Gondek, M., Weindorf, D. C., Thiel, C., & Kleinheinz, G. (2020). Soluble salts in compost and their effects on soil and plants: A review. *Compost Science & Utilization*, 28(2), 59-75.
- [23] AASHTO T 265-81, (2015) Standard Method of Test for Laboratory Determination of Moisture Content of Soils.
- [24] ASTM (1990) Standard Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock. Annual Book of ASTM Standards, D 2216-90 (Revision of 2216-63, 2216-80).