# طراحی ، ساخت و ارزیابی رطوبت سنج خازنی برای کنترل عمق کاشت بذر به صورت تابعی از رطوبت خاک

ترحم مصری۱- حمید رضا قاسم زاده۲- ایرج حسن زاده۳

## چکیده

در کشاورزی دقیق *(Precision Farming)* انجام عملیات به صورت *Site-Specific* از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی از پارامترهای موثر در جوانه زنی مناسب بذر رطوبت محل استقرار بذر *(Site)* می باشد.

در تحقیق حاضر حسگر رطوبتی بر پایه سنجش ویژگی دی‌الکتریکی خاک ساخته شد. سیگنال حاصله به صورت ولتاژ بوده و به منظور تعیین رابطه رطوبت با خروجی حسگر آزمایشاتی در خاک لوم شنی انجام گرفت و نتایج آزمایش بیانگر رابطه‌ی خطی قوی بین محتوای رطوبتی خاک و خروجی حسگربود($R^2$ =۸۵٪).

سیگنال خروجی حسگر با استفاده از آرایش *3-opamp* تقویت شده و به منظور انجام محاسبات و تعیین رطوبت و کنترل سیستم به یک میکروکنترلر *89C52* اعمال شد. سیستم کنترلی که برای این کار طراحی شد کنترلر *on/off* بود که با در نظر گرفتن سطح مطلوب رطوبت و میزان رطوبت عمق قرارگیری حسگر، سیگنال کنترلی مورد نظر را به تراشه درایو موتور *L-298* به منظور کاراندازی شیر هیدرولیکی سولنوئیدی قطع و وصل اعمال می نماید. عمق کاشت توسط یک سیستم الکتروهیدرولیکی که متشکل از شیر کنترل جهت تحریک برقی، شیر کنترل دبی، سیلندر هیدرولیکی دو طرفه و جابجایی‌سنج نوری است براساس سیگنال کنترلی مورد نظر تنظیم می‌شود.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی گروه مهندسیماشینهای کشاورزی دانشگاه تبریز
۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تبریز
۳- استادیار گروه مهندسی کنترل دانشکده مهندسی برق دانشگاه تبریز

## مقدمه

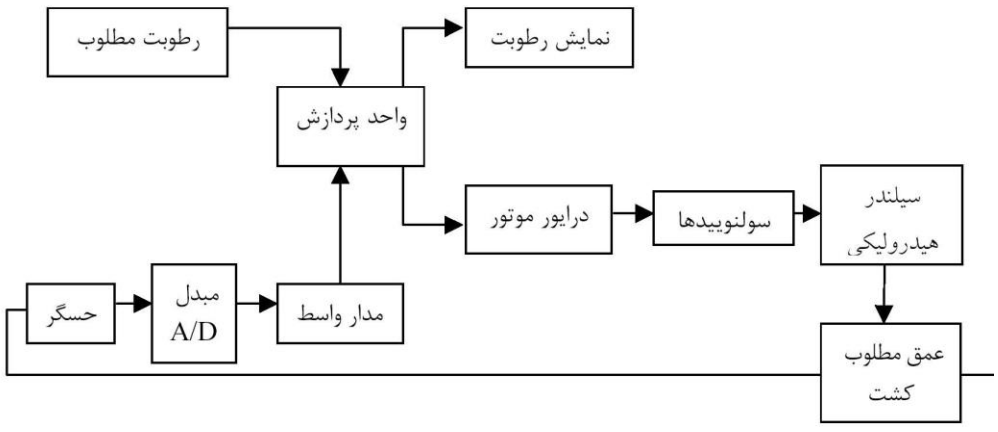
تغییرات مکانی شرایط خاک از جمله رطوبت در عملکرد محصول بسیار موثر است. برای اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در مزرعه نیاز به روش‌های سریع و دقیق می‌باشد که در حال حاضر دو متد برای این کار وجود دارد که عبارتند از : اندازه‌گیری نقطه‌ای و روش سنجش از دور. تخمین سریع محتوای رطوبتی و اعمال کنترل بر روی سیستم‌های فعال با استفاده از رویکردهای فوق دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. از جمله روش های سنجش رطوبت که قابلیت استفاده از آنها در ماشین های متحرک وجود دارد می توان به حسگرهای اپتیکی، مقاومتی و خازنی اشاره نمود.

اساس کار حسگر خازنی بر پایه‌ی تغییرات ظرفیت یک خازن می‌باشد که در یک میدان نوسان‌ساز $RC$ قرار گرفته است. برای اندازه‌گیری محتوای رطوبتی خاک از دو الکترود که در خاک قرار می‌گیرند استفاده می‌شود تا به وسیله آن تغییرات ثابت دی‌الکتریکی خاک سنجیده شود چرا که میزان رطوبت خاک( $\theta$ ) فاکتور عمده موثر بر ثابت دی‌الکتریکی خاک می‌باشد و رابطه خوبی را می‌توان بین $\varepsilon$ و $\theta$ در یک نوع خاک بدست آورد. مطالعات نشان می‌دهند که دانسیته ظاهری خاک بر $\varepsilon$ موثر بوده و مواد آلی و میزان رس تاثیر چندانی بر $\varepsilon$ ندارند*(Gardner et al.,1998)*.

*Eller* و همکاران (۱۹۹۶) در فرکانس کاری $32MHz$ اثر قسمت موهومی $(\varepsilon'')$ را در مدل برآورد شده در نظر نگرفته‌اند، نیز اظهار داشته‌اند که در این فرکانس کاری نوع خاک نیز اثری نه درخور توجه درقسمت واقعی $(\varepsilon')$ دارد که در نهایت با خطای کمتر از ۵٪ به برآورد میزان محتوای رطوبتی خاک دست یافته‌اند. این حسگرها به صورت نیمه دائمی[1] در یک مکان ثابت نصب شده و به عنوان یک حسگر استاتیکی برای برنامه‌ریزی‌های آبیـاری مورد استفاده قرار می‌گیرند*(Bell, et al.,1987)*.

## مــواد و روش‌هــا

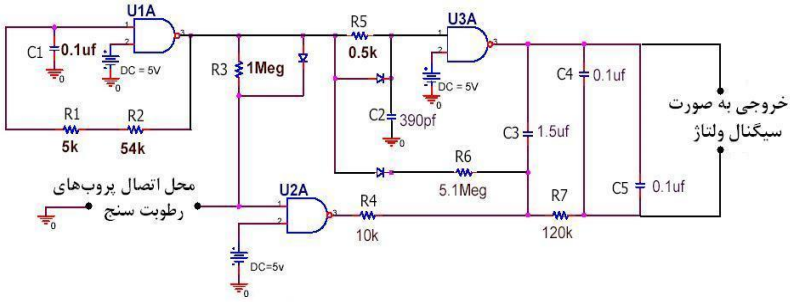
در شکل (۱) قسمت‌های کلی سیستم به صورت نمودار بلوکی آورده شده است. چنانچه مشاهده می‌گردد متغیر مستقل رطوبت حجمی خاک بوده و متغیر تاثیرپذیر عمق کاری است که با اندازه‌گیری محتوای رطوبتی و با این فرض که با افزایش عمق نفوذ در خاک رطوبت افزایش پیدا می‌کند عمل کاهش و افزایش عمق در جهت رساندن رطوبت عمق کاری، به سطح مطلوبی که در ابتدای کار تعیین شده انجام می‌گیرد.




شکل ۱) نمودار بلوکی سیستم کنترل عمق با در نظر گرفتن محتوای رطوبتی خاک

1- semipermantely

طبق بررسی‌های اولیه، ظرفیت خازنی خاک واقع در بین دو صفحه تهیه شده بدین منظور در گستره پیکوفاراد برآورد شد، لذا گزینه قابل اجرا برای برآورد رطوبت خاک مدارالکترونیکی‌ی بود که قابلیت اندازه‌گیری ظرفیت خازنی را در گستره پیکوفاراد داشته باشد. شکل شماتیکی مدار مورد نظر در شکل ۲ آمده است که براساس مقایسه *duty cycle* ناشی از زمان لازم برای پر و خالی شدن یک خازن معلوم با خازن مجهول، ظرفیت خازن مربوطه را که در گستره‌ی *pF* ۱۰۰۰- ۱۰ را اندازه‌گیری می‌کند. از ویژگی بارز مدار حاضر عدم نیاز به هرگونه عملیات ریاضی برای برآورد میزان ظرفیت خازنی مورد نظر است و آنچه که به عنوان خروجی حسگر به صورت ولتاژ است از نظر قدرمطلق برابر با مقدار ظرفیت خازنی به *pF* می‌باشد.




شکل ۲ ) مدار شماتیکی حسگر اندازه‌گیری رطوبت خاک

اجرای شبیه‌سازی برای اندازه گیری پاسخ زمانی با استفاده از بسته نرم‌افزاری *Orcad, 8.2* انجام شد. پاسخ زمانی سیستم به میزان *ms* ۱۵۰ برآورد گردید که مدت زمان مناسبی برای انجام عمل اندازه‌گیری در این پروژه محسوب می‌گردید( شکل ۳).

شکل ۳) گراف پاسخ زمانی حسگر سنجنده محتوای رطوبتی خاک

پروب‌های رطوبت‌سنج با دو آرایش و برای انجام آزمایشات جداگانه تهیه گردیدند بدین صورت که پروب اولی از دو صفحه مستطیل شکل به ابعاد *mm* ۳۵×۴۰ و ضخامت *mm* ۳ به منظور بررسی رابطه‌ی بین رطوبت و خروجی حسگر از جنس فولاد استیل تهیه و توسط لاک پلاستیکی پوشش داده شد تا از اثرات هدایتی جلوگیری به عمل آید. پروب دومی به منظور بررسی امکان حرکت دادن پروب در خاک از جنس مس و به ابعاد *cm* ۱۵*۱ تهیه شد و برای ایجاد حالت مقاوم در برابر سایش توسط پلی‌استر به ابعاد *cm* ۱۸×۲/۳ و ضخامت رویی *mm* ۱ و پشت پروب با ضخامت *mm* ۹ پوشش داده شد. خاکی که برای آزمایش انتخاب شد از مزارع تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در ایستگاه تحقیقاتی کرکج نمونه برداری شده بود.

تراشه‌ای که در این پروژه برای پردازش و کنترل سیستم مورد نظر از آن استفاده شد *AT89C52* از تراشه‌های سری *8051* ساخت شرکت *Atmel* می باشد. از آرایش مالتی‌پلکس برای دسترسی به هر یک از بلوک‌های *A/D* و واحد نمایشگر استفاده شد.

بعد از بازنشانی ابتدا میکروکنترلر دستور *Initialize* سیستم هیدرولیکی را صادر می‌کند و کارانداز هیدرولیکی جمع شده و در انتهای بالایی قرار می‌گیرد. سپس دستور افزایش عمق را به سانتی‌متر صادر می‌کند و سیستم دکودر اپتیکی شروع به شمارش فاصله نموده و در عمق مطلوب دستگاه *initialize* می‌شود و از این لحظه سیستم وارد حلقه کنترلی بر اساس رطوبت می‌گردد. نرم افزار مورد نظر در زبان برنامه‌نویسی *C-8051* تهیه شد.

### اعمال سیگنال کنترلی بر روی $\mathcal{DCV}$

برای کنترل و درایو سولنوئیدهای شیر کنترل جهت هیدرولیکی با استفاده از مدار منطقی ناشی از دستورات میکروکنترلر از تراشه $\mathcal{L}298$ که از جمله تراشه‌های درایو موتور محسوب می‌گردد استفاده شد. تراشه‌ی $\mathcal{L}298$ که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفت از نوع $\mathcal{M}ultiwatt15$ که قابلیت کنترل و راه‌اندازی دوگانه درایوهایی نظیر رله‌ها[۲]، سولنوئیدها و *stepping motors* را دارا می‌باشد.

### تجزیه و تحلیل شاخص‌ها

شاخص‌های اندازه‌گیری شده در آزمونهای آزمایشگاهی توسط نرم افزارهای $\mathcal{SPSS}$، $\mathcal{E}xcell$، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. شیوه کار در آزمون به شرح زیر است: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کاملا تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برازش خط رگرسیونی در دو سطح رطوبتی یعنی برای پایین‌تر از ۱۰٪ رطوبت حجمی و بالاتر از این مقدار بصورت جداگانه انجام گرفت. خروجی حسگر به عنوان متغیر مستقل و رطوبت حجمی و نیز جرمی خاک به عنوان متغیر وابسته در مدل رگرسیونی وارد شدند. نهایتا برازش مدل رگرسیونی برای میانگین کلیه داده‌های حاصل از تکرارهای هر سه تیمار انجام گرفت. آزمون دیگر برازش خط با در نظر گرفتن خروجی حسگر به عنوان متغیر مستقل و رطوبت حجمی و چگالی ظاهری خاک به عنوان متغیر وابسته، نیز خروجی حسگر به عنوان متغیر مستقل و رطوبت جرمی و چگالی ظاهری خاک به عنوان متغیر وابسته انجام پذیرفت و صحت و عدم صحت وارد کردن پارامتر دانسیته مورد ارزیابی قرار گرفت.

### نتایج و بحث

بعد ازبرازش داده‌ها مدل‌های محتوای رطوبتی حجمی رطوبت‌های بالای ۱۰٪ برآورد شد که نتایج آن در جدول‌های زیر می‌آید(جدول ۱):

**مدل خطی**:

جدول۱ ) تجزیه واریانس رگرسیونی مدل خطی *[۱]*

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|---|---|---|
| ناشی از رگرسیون خطی | ۱ | ۱۳۹۳/۳۶** |
| باقیمانده | ۲۳ | ۱۲/۸۸ |

$\theta_v = (۰/۶۲۹۶)\ Out - ۴۷/۸۴۴$ $\quad \mathcal{R}^2 = ۰/۸۲$ *[۱]*

برای ضرایب معادله فوق تست $t$ انجام شد که ضریب رگرسیونی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود.

مدل رگرسیونی برآورد شده برای اندازه‌گیری محتوای رطوبتی جرمی برای داده‌های رطوبتی بالای ۱۰٪ جرمی بصورت زیر برآورد شد(جدول ۲):

**مدل خطی**

جدول ۲) تجزیه واریانس رگرسیونی مدل خطی *[۲]*

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|---|---|---|

2- relays

**) بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪

| | | |
|---|---|---|
| ناشی از رگرسیون خطی | ۱ | ۲۹۰/۹۷** |
| باقیمانده | ۲۳ | ۲/۱۵ |
| $\theta_g$= (۰/۲۸۷۷) *Out* −۱۴/۹۰۶ | $\mathcal{R}^2$ =۰ /۸۵ | [۲] |

برای ضریب معادله تست $t$ انجام شد که برای معادله خطی ضریب رگرسیونی که در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود.

طبق گزارشات *Ansolut* دانسیته ظاهری خاک نیز به اندازه رطوبت بر خروجی حسگر موثر است. لذا مدل رگرسیونی برآورد شده برای اندازه‌گیری دانسیته ظاهری داده‌های رطوبتی بالای ۱۰٪ بصورت زیر برآورد شد(جدول ۳):

**مدل خطی**

جدول ۳) تجزیه واریانس رگرسیونی مدل خطی [۳]

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|---|---|---|
| ناشی از رگرسیون خطی | ۱ | ۲۷۹۳/۱۴** |
| باقیمانده | ۲۳ | ۳۰/۶۳۸ |
| $\rho_b$ = (۵۰/۷۸۶) *Out* + ۴۶/۹ | $\mathcal{R}^2$ =۰ /۷۹ | [۳] |

برای ضریب رگرسیونی معادله فوق تست $t$ انجام شد که برای در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود.

آزمایشات برای داده‌های زیر ۱۰٪ رطوبت نیز تکرار شد و نتایج حاصله برای برازش مدل‌های رگرسیونی از درجه اعتبار ساقط بود. بدین صورت که ضریب تبیین مدل‌های برآورد شده برای مدل‌های خطی، لگاریتمی و درجه دوم به ترتیب برابر ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۲۸ بود و نیز نتایج حاصل از تست ضرایب معادلات به روش $t$ نشان‌دهنده عدم معنی‌داری این مقادیر در سطح احتمال ۵٪ بود. نتایج مشابهی نیز برای محتوای رطوبتی جرمی نیز بدست آمد که ضریب تبیین مدل‌های خطی، لگاریتمی و درجه دوم به ترتیب برابر۰/۰۰۳، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۱۷ بود و نتایج حاصل از تست ضرایب معادلات به روش $t$ نشان‌دهنده عدم معنی‌داری این مقادیر در سطح احتمال ۵٪ بود. در مورد اندازه‌گیری دانسیته ظاهری خاک نیز نتایج حاصل نشان دهنده عدم وجود رابطه‌ای خطی بین خروجی و پارامتر اندازه‌گیری شده بود.

نظر به اینکه عملیات کشت در رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای انجام می‌گیرد و خاک مورد آزمایش دارای ظرفیت مزرعه‌ای ۱۸٪ رطوبت حجمی می‌باشد و نیز با استناد به گزارش *Hughes* مربوط به نیازمندی‌های ماشین‌های کاشت پنبه دیم، در کشت دیم پنبه که ماشین‌های دقیق‌کار بسیار متداول‌اند، مشکلی که در چنین روش کشتی بیشتر گزارش شده‌است در ماشین‌های کشت با شیاربازکن دودیسکی[3] موقعی که در مزرعه با رطوبت بالا و ناهموار کار می‌کنند بوده است. لذا می‌توان به کارکرد سیستم که دارای روند منطقی در رطوبت‌های بالای ۱۰٪ در حل این مشکل اطمینان داشت. سیستم حاضر برای حل مشکل طوری برنامه‌ریزی شده است که بعد از سه مرحله داده‌برداری، اگر محتوای رطوبتی تغییری نداشته باشد نظر به اینکه بر اساس پژوهش‌های انجام شده توسط *Danfors* بهترین گزینه در انتخاب عمق کاشت حالتی است که بذر در اولین لایه مرطوب خاک کشت شود (به نقل از احمدی، ۱۳۸۱) دستور به کاستن از عمق به میزان یک پله( برابر با ۰/۵$cm$) به منظور کاستن از عمق و بهینه نمودن عمق کاشت را صادر می‌کند.

**- تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط حرکت حسگر**

3 - double disc openers

داده‌های مربوط به منظور بررسی اثر حرکت حسگر در خاک جمع‌آوری گردید بدین منظور پروب‌هایی از جنس مس به ابعاد ۱۵×۱ سانتی‌متری را با ماده عایق پلی‌استری پوشش داده شده بر روی شیاربازکن تیغه‌ای نصب کردیم. جمع‌آوری داده‌ها با سوار کردن تجهیزات مربوطه بر روی شاسی متحرک و حرکت دادن آن در طول مسیر ۴متری مدل مزرعه‌ای تهیه شده انجام گرفت. بدین منظور در گستره رطوبتی ۳ تا ۱۹ درصد محتوای رطوبتی جمع‌آوری داده‌ها انجام گرفت که در هر سری از این داده‌ها مقایسه میانگین بین خروجی حسگر در حالت ایستا و متحرک با هم مقایسه گردید که نتایج در جدول ۱۰ آمده‌است. نتایج حاصله بیانگر رضایت‌بخش بودن توانایی حسگر در تمایز بین تغییرات میانگین‌ها وقتی که محتوای رطوبتی بیشتر باشد و نیز همسانی میانگین‌ها وقتی که تغییرات محتوای رطوبتی کمتر باشد دارد.

رطوبت سنج *TDR* با استناد به گزارش *Inoue* (۲۰۰۱) با تغییراتی در پروب آن قابلیت ثبت در حین حرکت را دارد که البته داده‌برداری‌های گزارش شده در حالت ایستا انجام گرفته است. در نتایج مربوط به آزمایشات *Price* و همکاران(۱۹۹۳) گزارش شده است که اولا روش تخمین محتوای رطوبتی در تکنیک *NIR* با استفاده از مدل *maximum likelihood classifier* انجام گرفته و گزارش شده است که حسگر قادر است بین میزان پتانسیل *kPa* ۵۰-، ۳۰- و ۱۰- و پتانسیل ۱۰۰- و ۱۵۰- با دقت ۸۲٪ تمایز قایل شود. آزمایشات انجام گرفته در خاک با محتوای رطوبتی بالای ۱۹/۴۴٪ و نیز پایین تر از این مقدار انجام گرفته است که نتایج حاصله از آزمایشات نشان دهنده مزیت نسبی سیستم طراحی شده نسبت به نوع اپتیکی دارد.

**- نتیجه‌گیری**

- از آن جایی که رابطه‌ای مناسب بین دانسیته ظاهری خاک و خروجی حسگر بدست آمده است می‌توان از این ویژگی برای برآورد کیفیت عملیاتی خاک‌ورزی به ویژه برای بذور ریز استفاده کرد.

- نظر به اینکه تغییرات سطح تماس حسگر با خاک رابطه معنی‌داری با خروجی حسگر دارد سیستم می‌تواند به منظور کنترل کننده عمق در شرایطی که محتوای رطوبتی فاکتور ثابتی در نظر گرفته شود بکار رود.

- با توجه به اینکه تاریخ کشت از عوامل مهم در کشت دیم محسوب می‌گردد در مواردی که زمین رطوبت کافی برای کشت نداشته باشد گزارش شده است که از آب‌پاش نصب شده روی کارنده‌ها بهره گرفته شده است به خصوص برای مواردی که آب نقش حمل‌کننده مواد مغذی نظیر *MAP* و روی و در مواردی که حشره‌کش‌هایی نظیر *Lorsban* استفاده گردد این کار از اهمیت بیشتری برخوردار بوده است. عموما به مقدار *L/Ha* ۵۰۰ آب مصرف می‌گردد و این کار موجب کاهش ظرفیت مزرعه‌ای به میزان ۴۰-۲۰٪ می‌گردد. استفاده از این سیستم( البته با کنترل کننده‌های تناسبی) می‌تواند در بهبود افت ظرفیت مزرعه‌ای موثر واقع گردد.

**منابع:**


۱- **احمدی، ابراهیم و حمیدرضا قاسم‌زاده.** ۱۳۸۱. ارائه سیستم کاشت مکانیزه کلزا: طراحی مکانیزم و ساخت . پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبـریز.

2. *Bell, J.P., Dean, T.J., and Hodentt.,M.G.,1987. Soil Moisture Measurement by an Improved Capacitance Technique, Part 2. Field Technique Evaluation and Calibration. Journal of Hydrology,**93**: 79-90.*
3. *Eller, H., Denoth, A., 1996. A Capacitive Soil Moisture Sensor. Journal of Hydrology, **185**: 137-146.*
4. *Gardner, C.M.K., Dean, T.J., Cooper, J.D.,1998. Soil water Content Measurement with a High-Frequency Capacitance Sensor. J. agric. Engng. Res. **71**: 395-403.*

5. *Inoue, Y., Wanabe, T., Kitamura, K., 2001. Prototype Time-Domain Reflectometry Probes for Measurement of Moisture Content Near the Soil Surface for Application to "on-the-move" Measurements. Agricultural Water Management,* ***50****: 41-52.*

6. *Price, R. R., Gaultney, L. D. 1993. soil Moisture Sensor for Predicting Seed Planting Depth. Transaction of ASAE.,* ***36****(6): 1703-1711.*