طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه اندازه گیری شوری محلول الکترولیت در تغذیه خودکار کشت هیدروپونیک

محمداسماعیل خراسانی فردوانی[۱]، محمد جواد براتی[۲]، سید محمد حسن مرتضوی[۳]

[۱] استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز؛ e.khorasani@scu.ac.ir
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد، مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز؛ mohammad.jawad.barati@gmail.com
[۳] دانشیار گروه باغبانی، دانشگاه شهید چمران اهواز؛ mortazavi_mh@scu.ac.ir

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

چکیده

اندازه گیری مداوم شوری محلول مواد مغذی به عنوان یک پارامتر کنترلی به طور گسترده ای در سامانه های ترکیب مواد مغذی هیدروپونیک کاربرد دارد. تمرکز این تحقیق بر طراحی یک حسگر برخط از نوع دو الکترودی (مقاومتی) است که بتواند شوری محلول مواد مغذی را به صورت مداوم پایش نماید. سامانه پیشنهادی شامل یک پروب دو الکترودی از کربن و مدار پردازش سیگنال است. مدار پیشنهادی شامل یک اسیلاتور، مدار تقویت کننده، مبدل AC-DC و مدار آماده سازی سیگنال برای میکرو کنترل است. به منظور افزایش رنج اندازه گیری در محلولهای الکترولیت از یک مدار تنظیم بهره و بایاس استفاده شد که همه مدارها به تفضیل شرح داده شده است. به منظور ارزیابی سامانه دو پروب شامل یک پروب ارزان قیمت آزمایشگاهی و یک پروب دست ساز گرافیتی با کمک محلول های استاندارد کالیبره و از نظر دقت، دامنه و کیفیت مقایسه گردید. نتایج نشان داد که خطای این سامانه کم و در حدود ۰/۱۶- تا ۰/۱۶+ میلی زیمنس بر سانتی متر برای پروب آزمایشگاهی و ۰/۲۵- تا ۰/۲۵+ میلی زیمنس بر سانتی متر برای پروب گرافیتی دست ساز متغیر بود. این سامانه قادر است مقدار شوری محلول را در دامنه بین ۰/۳ تا ۳/۹۴ میلی زیمنس بر سانتی متر به طور پیوسته اندازه گیری کند.

کلمات کلیدی: هدایت الکتریکی، شوری، دو الکترودی، مدار پردازش سیگنال، سامانه دوزینگ هیدروپونیک، محلول الکترولیت

Design, Construction and Evaluation of Salinity Measuring System in Hydroponics Electrolytic Nutrients Auto-Dozer

Mohamad Esmail Khorasani Ferdavani[1], Mohammad Javad Barati[2], Mohammad Hasan Mortazavi[3]
[1]Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, (e.khorasani@scu.ac.ir)
[2] M. Sc. Student, Department of Biosystem Engineering, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, (mohammad.jawad.barati@gmail.com)
[3]Associate Professor, Department of horticulture, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz**, (**mortazavi_mh@scu.ac.ir)

ABSTRACT

Continues measurement of electrolytic conductivity is widely applied as a control parameter in hydroponics dozing systems. In this work, the consideration focused on design of a low cost in-situ two-electrode (resistive) conductivity sensor. The proposed system consists of the EC sensor made of the two carbon electrodes and the conditioning signal circuit. The system consist of an oscillator, Gain loop, AC-to-DC converter, microcontroller interface. For expansion range of electro-conductivity measurement in electrolytic solutions, a zero and span circuit implemented that all described in detail. A low cost laboratory EC and a handmade graphite electrode was evaluate after calibration with standard solutions for precision, range and functionality. The results showed that the error value is low, in range between -0.16 to 0.16 mS/cm and -0.25 to 0.25 mS/cm respectively. The system can measure the EC in a range of 0.3 to 3.94 mS/cm continually.
Keywords: Electrical conductivity, salinity, two electrodes, conditioning signal circuit, hydroponics dozing systems, Electrolytic solutions

۱- مقدمه

هدایت الکتریکی رابطه مستقیمی با نمک های رسانای موجود در مایع دارد و هر چه نمک های رسانا بیشتر باشد هدایت الکتریکی بیشتر می گردد. از هدایت سنج های الکتریکی به منظور آنالیز آب، آزمایشات محیطی و همچنین در مراحل تولید که نیاز به بررسی رسانایی محلول وجود دارد استفاده می شود. آب مقطر یا آب خالص تقریباً هادی جریان الکتریسیته نیست ولی اگر در آب نمک های محلول وجود داشته باشد آب را هادی جریان الکتریسیته می کند، هر چه مقدار املاح حل شده در آب بیشتر باشد قابلیت هدایت الکتریکی نیز افزایش می یابد، به عبارت دیگر مقاومت الکتریکی آن کاهش می یابد. با توجه به نقش درجه حرارت در میزان هدایت الکتریکی آب، اندازه گیری ها نسبت به درجه حرارت استاندارد که همان ۲۵ درجه سانتیگراد است بایستی اصلاح گردد. هدایت الکتریکی به ازای افزایش هر درجه سانتی گراد تقریباً ۲ درصد افزایش می یابد(Hayashi., 2004). نمونه های آب EC معمولا برای مخلوط کردن آب شیرین با آب دریا (Hiscock et al., 1996) برای ارزیابی نسبت آب باران و آب زیرزمینی در هیدروگراف جریان (Kobayashi. 1986) و برای اندازه گیری رقیق بودن جریانات تخلیه (Dingman. 2002) مورد استفاده و بررسی قرار می گیرد. EC، مقاومت الکتریکی، در تحقیقات ژئوفیزیکی برای تعیین میزان آلاینده ها یا نفوذ آب نمک استفاده می شود (Yechieli et al., 2001). واحد هدایت الکتریکی ویژه آب µ mho/cm (میکرو موس بر سانتیمتر) است که در سیستم SI با µSiemens/cm (میکرو زیمنس بر سانتیمتر) نمایش داده می شود. با توجه به نوع کاربرد، هدایت سنج های مختلفی وجود دارد و به دو دسته EC سنج های غیر تماسی و تماسی تقسیم بندی می شوند که مدل های غیر تماسی در صنعت های بزرگ و مدل های تماسی در دستگاه ها و آزمایشگاه ها استفاده می شود. EC سنج غیر تماسی را می توان با میکروالکترونیک[1]مدرن ترکیب کرد که دارای نرم افزار های مجتمع شده است و کیفیت اندازه گیری غلظت اجزای یونی در نمونه ها را بهبود می بخشد. EC سنج غیر تماسی با اندازه گیری حرکت یا سرعت یون ها در یک الکترولیت[2]تحت یک میدان الکتریکی اعمال می شود کار می کند. EC سنج های تماسی خود به چندین نوع تقسیم بندی می شوند شامل: تک الکترود[3] دو الکترود، چهار الکترود و بدون الکترود مدل هایی که در صنایع پیشرفته به کار می روند شامل مدل های دو الکترود، چهار و بدون الکترود می باشد. مدل دو الکترود برای اندازه گیری در محلول های پاک کننده مناسب است تا از اشتباهات ناشی از پوشش ها

[1] Microelectronic
[2] Electrolyte
[3] Electrode

و فیلم ها بر روی الکترود ها جلوگیری شود، همچنین در این طرح ها مطلوب است که امپدانس[1] بین فاز های الکتریکی را با محلول به حداقل برسانیم زیرا هدف این است که اندازه گیری هدایت الکتریکی از الکترولیت باشد. الکترود ها از پلاتین ساخته و با روکش پلاتین سیاه پوشیده شده اند (شکل ۱a). مدل چهار الکترود برای هدایت های بالا استفاده می شود و دیگر جای نگرانی برای فرسایش الکترود ها وجود ندارد، معمولا برای اندازه گیری نمک ها، اسید ها و بازها در فرآیند های شیمیایی در معدن، متالوژی[2] صنایع کاغذ و آلومینیوم استفاده می شود (شکل۱b). یک راه برای از بین بردن اثرات قطبیت الکترود ها، حذف الکترود ها است لذا از مدل بدون الکترود استفاده می شود. تکنیک هایی برای انجام این کار به عنوان اندازه گیری رسانایی الکتریکی غیر مستقیم یا به صورت متناوب به عنوان حسگر هدایت الکتریکی یا مارپیچی اشاره شده است. پروب شامل دو حلقه مارپیچ محصور شده است، هنگامی که در الکترولیت غوطه ور می شود، محلول یک حلقه رسانا که توسط دو مارپیچ به اشتراک گذاشته شده است را تشکیل می دهد، یک مارپیچ میدان الکتریکی و دیگری یک جریان الکتریکی کوچک ایجاد می کند در واقع دو مارپیچ یک ترانسفورماتور[3] تشکیل می دهند که کویل[4] ها با مقاومت الکترولیت ارتباط دارند (شکل۱c)(Liptak, B. G., 2003).

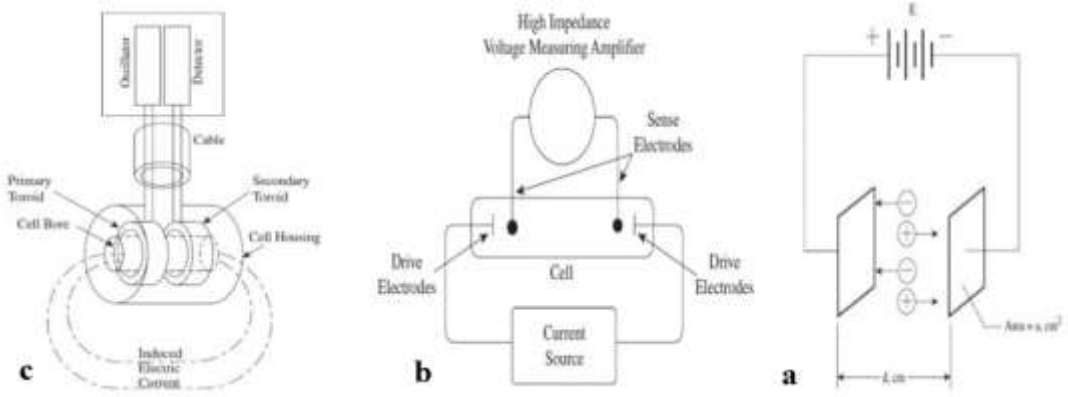

Figure 1. Electrical conductivity a) two electrodes b) four electrodes and c) Electromagnetic

شکل۱- هدایت سنج a) دو الکترودی b) چهار الکترودی و c) الکترومغناطیس

۱-۱- اهمیت EC در هیدروپونیک

یکی از اصول پایه برای تولید سبزیجات، هم در خاک و هم در سامانه های هیدروپونیک، تامین تمام مواد مغذی مورد نیاز گیاه است. تعدادی از عناصر شیمیایی برای رشد و تولید گیاهان ضروری است که در مجموع از شانزده عنصر مهم تشکیل شده است: کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد، کلسیم، منیزیم، منگنز، آهن، روی، بور، مس، مولیبدن و کلر (Domingues et al., 2012).

در محصولات هیدروپونیک، جذب معمولا با غلظت مواد مغذی در محلول در نزدیکی ریشه ها متناسب است، که به شدت تحت تاثیر عوامل محیطی مانند شوری، اکسیژن، دما، pH و هدایت محلول های مواد مغذی، شدت نور، دوره نور و رطوبت هوا است (Furlani et al., 1999). هر یک از مواد مغذی و ریز مغذی ها حداقل یک تابع در داخل گیاه دارد و اضافه یا کمبود آن منجر به علائم نارسایی یا مسمومیت می شود (Domingues et al., 2012). بنابراین، استفاده متعادل از مواد مغذی در تعیین کیفیت محصول حیاتی است (Abou-Hadid et al., 1995).

کنترل مواد مغذی موجود در محلول های مغذی از طریق یک سامانه خودکار توسط(Nielsen, N. E., 1984) با تنظیم سطح آب، غلظت مواد مغذی و pH پیشنهاد شده است. در یک سطح ثابت آب، کاهش غلظت نمک مربوط به کاهش هدایت الکتریکی (EC) است که می تواند برای نظارت بر سطوح مواد غذایی در محلول مورد استفاده قرار گیرد (Helbel Junior et al., 2008).

هدایت الکتریکی متناسب با مقدار کل یون‌ها است، بنابراین کاهش EC با کاهش مقادیر یون‌های موجود برای جذب ریشه همراه است. با این حال، نمک های مختلف هدایت الکتریکی متفاوت دارند. بنابراین، برای هر فرمولاسیون یک تابع خطی مربوط به یون‌های EC و کل مقدار حل شده وجود خواهد داشت (Filgueiras et al., 2008).

مطالعه ای جهت صرفه جویی در تولید کاهو هیدروپونیک با بهینه سازی هدایت الکتریکی (EC) در کشت ثابت در شرایط گرم (۳۸/۵ درجه سانتی

---

[4] Impedance
[5] mythology
[6] Transformer
[7] Coil

گراد) گلخانه ای در سریلانکا انجام شد. چهار گیاه با ۵۰ لیتر ماده مغذی کشت شدند، در حالی که دوز پایین (۰/۵ و ۱ گرم در لیتر) با دوز استاندارد (۲ گرم بر) از محلول آلبرت مقایسه شد. EC از تیمارهای ۰،۵، ۱،۰ و ۲،۰ گرم بر لیتر به ترتیب ۱/۴، ۲/۰، ۳/۰ دسی زیمنس بر متر بود. با افزایش EC محلول غذا، وزن تازه و وزن خشک گیاهان به طور معنی داری کاهش می یابد. تشکیل بیشتر برگ (تعداد برگ) در ۱/۴ دسی زیمنس بر متر از ۲/۰ و ۳/۰ دسی زیمنس بر متر منجر به افزایش وزن تازه و خشک شد. دیگر ویژگی های مورفولوژیکی مانند ارتفاع ساقه و سطح برگ نیز در همان روند دیده می شود، اما از لحاظ آماری معنی دار نبودند. در مقابل، جذب N، P، K و Ca با افزایش EC افزایش می یابد. رابطه معکوس رشد و عملکرد گیاه با میزان جذب مواد مغذی می تواند به علت اثرات منفی جذب بیش از حد مواد مغذی توسط گیاه، بر فیزیولوژی رشد در فرم مسمومیت، عدم تعادل یا پاسخ دفاعی باشد (Samarakoon et al., 2006).

هدایت الکتریکی (EC) با استفاده از هدایت سنج، نشان دهنده غیرمستقیم از قدرت محلول مواد مغذی است. محدوده ایده آل EC برای هیدروپونیک بین ۱/۵ تا ۲/۵ دسی زیمنس بر متر است و EC بالا باعث افزایش جذب مواد مغذی به علت افزایش فشار اسمزی می شود، در حالی که EC پایین می تواند به شدت بر سلامتی و عملکرد گیاه تأثیر بگذارد (Anonymous., 2002).

میزان جذب همه مواد مغذی با افزایش غلظت محلول های مغذی افزایش می یابد، اگر چه به افزایش عملکرد کمک نمی کند. از این رو، محلول هایی که دارای EC بالا هستند، خطر افزایش غلظت روی سطوح سمی در طول دوره رشد را دارا می باشند، به خصوص اگر این محلول اغلب تجدید نگردد (Samarakoon et al., 2006).

اگر چه میزان جذب همه مواد مغذی با افزایش غلظت محلول های غذای (EC) افزایش می یابد، اما به افزایش عملکرد کمک نمی کند. بنابراین، وضعیت را می توان در نظریه های عمومی جذب مواد معدنی توسط گیاهان توضیح داد. برخی از یون ها در غلظت های بالا می توانند توسط گیاه در مقادیر زیاد جذب شوند، در حالی که جذب یون های خاصی که در مقادیر کمتری وجود دارد، مهار می شود. جذب زیاد یون ها موجب عدم تعادل مواد مغذی در گیاهان می شود که منجر به کاهش تولید کل ماده خشک می شود (Bugbee. 1995; Schwarz. 1995).

کنترل غلظت محلول غذایی بسیار مهم است. اگر غلظت زیاد باشد، ممکن است باعث سوزاندن ریشه ها یا شاخساره ها شود. اگر غلظت خیلی پایین باشد، علائم کمبود آن ممکن است پدیدار شود. "هدایت سنج" یک وسیله است که برای کمک به کنترل غلظت مواد مغذی مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین به عنوان یک ECمتر، CF متر یا TDS متر شناخته شده است. "هدایت الکتریکی" نشان دهنده سهولت محلول در رسانایی الکتریسیته است. مواد جامد به نام "نمک" (به عنوان مثال کلرید سدیم، نیترات پتاسیم)، وقتی که در آب حل می شود، "یون" تولید می شود. 'یون' اجازه جریان الکتریسیته از طریق محلول را می دهد. افزایش غلظت یون ها سهولت جریان الکتریکی در محلول را بهبود می بخشد بنابراین باعث هدایت بیشتر می شود. از این رو، برای تشخیص حضور نمک ها و غلظت تقریبی آنها در آب، از یک هدایت سنج استفاده می شود (Gardenandgreen., 2017).

هر چند میزان حساسیت گیاهان مختلف به شوری متفاوت می‌باشد ولی معمولا EC های بالاتر از ۳ به تدریج بر رشد و کیفیت گیاهان اثر منفی خواهند گذاشت. با این وصف لازم است برای ساختن محلول‌های غذایی از آبی که هدایت الکتریکی آن کمتر از ۱ می‌باشد استفاده نمود؛ زیرا پس از ساخت محلول غذایی EC آن به نسبت اضافه کردن عناصر غذایی افزایش می‌یابد. حال اگر EC آب مصرفی معادل ۲ باشد پس از اضافه کردن ترکیبات غذایی، هدایت الکتریکی آن بیشتر از ۲ و نزدیک ۳ خواهد شد. قبل از احداث باغ، زراعت، یا ایجاد سامانه هیدروپونیک، ابتدا باید توسط آنالیز آب توسط آزمایشگاه های معتبر یا دستگاه EC meter ، از میزان EC آب منطقه یا منبع آبی اطلاع کسب نمود تا بعد از صرف هزینه برای تولید، دچار دردسرهای ناشی از شوری آب برای کشت نشد. کیفیت آب مهمترین مساله در تهیه محلول مناسب در کشت هیدروپونیک محسوب می‌گردد. آبی که دارای مصارف خانگی و کشاورزی است حتما باید آزمایش شود و سپس مورد استفاده قرار گیرد. زیرا ممکن است این آبها دارای موادی باشند که در رشد گیاه تاثیر بگذارند. از طرفی میزان EC آب مورد استفاده، همانطور که بیان گردید نسبت معین و مستقیمی با TDS (مواد محلول موجود در آب) دارد در تهیه محلولهای کشت هیدروپونیک و نیز مدیریت این محلولها هنگامی که توسط گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند بسیار مهم و اساسی می‌باشد. هر چند میزان حساسیت گیاهان مختلف به EC متفاوت می باشد. در کشت هیدروپونیک به علت عدم استفاده از خاک زراعی و استفاده از مواد فاقد مواد غذایی به عنوان بستر نگهداری گیاه و نقش تغذیه ای آب، اثرات و اهمیت خاک به کلی از بین میرود و در عوض اهمیت آب مورد استفاده دوچندان میگردد. بنابراین توانایی رساندن مواد غذایی توسط آب اهمیت فراوانی در کشت هیدروپونیک دارد. از بین ویژگیهای مختلف آب، EC یا هدایت الکتریکی آب، در تغذیه گیاه نقش مهمتری را ایفا میکند که بطور معمول آن را "شوری آب" می نامند.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (دانشگاه کشاورزی و مکانیزاسیون ایران)

۲- مواد و روش ها

در این راستا سه پروب EC و یک ترنسمیتر با توجه به نوع مکانیزم آن ها طراحی شد که شامل دو الکترود از جنس کربن، دو الکترود از جنس سیم های نیکل کروم، یک پروب آزمایشگاهی ارزان و مدار ترنسمیتر است، همچنین مداری برای راه اندازی و تبدیل سیگنال آنالوگ[۱]به دیجیتال[۲]و اتصال آن به میکرو در نظر گرفته شده که مطابق شکل(۲) است، این EC سنج توانایی قرارگیری به صورت مداوم در محلول را دارد، این مدار برای اصلاح و ارسال سیگنال بین خروجی و ورودی است.

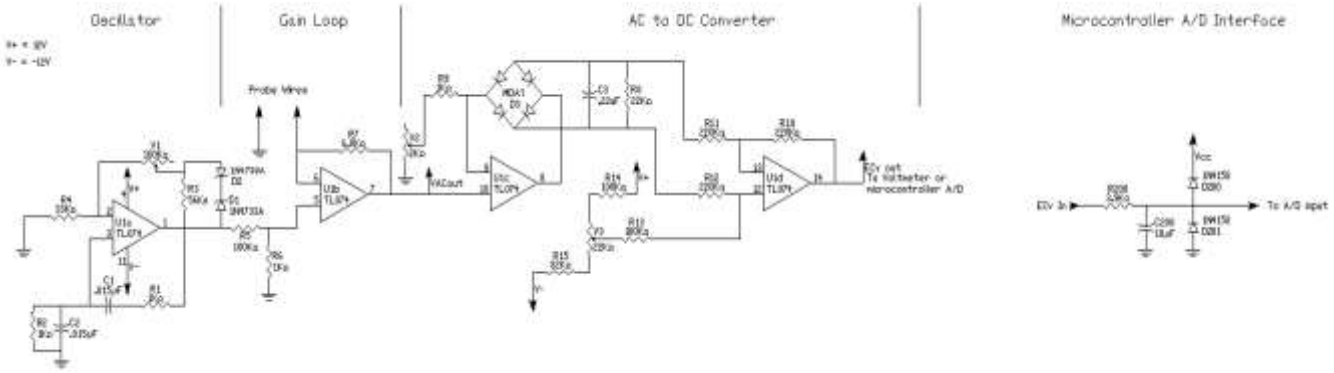

Figure 2. Proposed circuit for EC meter

شکل۲- مدار های پیشنهادی برای EC متر مورد نظر

مدار از چهار قسمت تشکیل شده است: ۱.اسیلاتور[۳]۲.حلقه تقویت[۴] ۳.مبدل AC به DC[۵]۴.رابط کاربری اتصال به میکروکنترلر[۶]

۲-۱ - توضیح مرحله به مرحله مدار

مرحله اول: مدار الکتریکی که سیگنال الکتریکی تکرار شونده (نوسانی) تولید می کند(نوسان ساز).اغلب موج سینوسی یا مربعی تولید می کند که در این مدار به صورت سینوسی است. نوسان ساز جریان مستقیم را از منبع تغذیه می گیرد و به سیگنال با جریان متناوب تبدیل می کند، با استفاده از مولتی ترن ۱۰۰ کیلو اهم می توان دامنه سیگنال را تغییر داد (شکل۳).

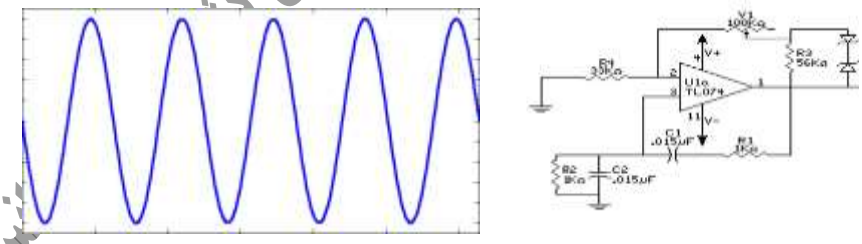

Figure 3. Oscillator

شکل۳- اسیلاتور

---

۱ Analog
۲ Digital
۱Oscillator
۲Gain loop
۳AC to DC converter
۴Microcontroller A/D interface
۵

اگر مدار فقط برای اندازه گیری هدایت (یا مقاومت) استفاده شود در نتیجه می توان به صورت مستقیم از volt/ohm هم استفاده کرد. از آنجایی که جریان DC از پروب می گذرد نمی توان رسانایی نمک را با جریان DC اندازه گیری کرد زیرا مولکول ها در این فرآیند از یکدیگر جدا می شوند، این مولکول ها هستند که انتقال الکتریسیته را انجام می دهند، در طی زمان در حال تغییر هدایت هستیم در نتیجه به صورت دائمی هدایت تغییر می کند و ثابت نمی ماند تا مقدار درست را نشان دهد (شکل۴) همچنین به دلیل الکترولیز آب به اکسیژن و هیدروژن شکسته شده که در نتیجه اکسیژن اضافی باعث اکسید شدن الکترودها و ایجاد یک لایه عایق روی آن می شود که در طولانی مدت باعث خارج شدن دستگاه از کالیبره و در نهایت از کار افتادن پروب می شود. می توان با استفاده از یک سیگنال AC بر این فرآیند غلبه نمود و فرکانس باید به اندازه کافی بالا باشد (بیشتر از 1KHz). در سیگنال AC به دلیل تغییر مداوم لحظه ای ولتاژ، زمان کافی برای جدا شدن مولکول ها از یکدیگر نمی ماند در نتیجه می توان هدایت را به طور دقیق اندازه گیری نمود، با ایجاد فرکانس های بالای 1Khz خروجی پایدار خواهد بود. مقدار ولتاژ تغذیه این مدار ۱۲ v+ و ۱۲v- می باشد. اگر بنابر استفاده ار ولتاژ های کمتر باشد باید در قسمت اسیلاتور مدار تغییراتی ایجاد شود.

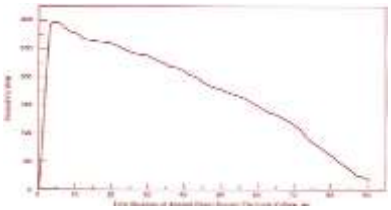

Figure 4. Relationship between EC and time in DC current

شکل ۴ - رابطه بین EC و زمان در جریان DC

مرحله دوم: هر مقدار EC دارای مقاومت منحصر بفرد است لذا بجای یکی از مقاومت های مدار که تعیین کننده ضریب تقویت مدار است از پروب استفاده می شود، در نتیجه باعث تغییر گین و تغییر مقدار خروجی به ازاء هر EC می شود به طور خلاصه در قسمت حلقه افزایش از محلول به عنوان یک مقاومت ناشناخته استفاده می شود. پروب به عنوان یک پای تقسیم کننده ولتاژ در سراسر تقویت کننده عملیاتی[1]در حلقه افزایش عمل می کند (شکل۵). برای پروب های مختلف می توان با تغییرR7 به نتایج دلخواه تری رسید.

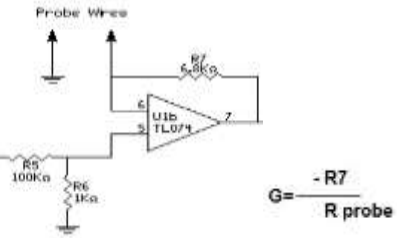

Figure 5. Gain loop and probe wires

شکل۵- گین مدار و محل قرار گیری پروب

مرحله سوم: این مرحله شامل تبدیل ولتاژ AC به DC و اضافه شدن گین و بایاس است. بدین صورت که برای تبدیل ولتاژ AC به DC غالباً از پل دیودی استفاده می شود، مهم ترین کاربرد دیود یکسو سازی است، یعنی در یک جهت جریان را گذراندن و ممانعت در برابر گذر جریان در جهت مخالف. در نتیجه می توان به دیود مثل یک شیر الکتریکی یکطرفه نگاه کرد. این ویژگی دیود برای تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم استفاده می شود. یکی از ساده ترین مدار هایی که این کار را انجام می دهد مدار یکسو ساز نیم موج است. در مدار یکسو ساز نیم موج منبع ولتاژ ورودی که سینوسی است به طور سری به یک دیود وصل می گردد. وقتی ولتاژ ورودی بزرگتر از صفر است دیود جریان را از خود عبور داده و ولتاژ خروجی با ولتاژ ورودی برابر می شود. اما زمانی که ولتاژ ورودی کوچکتر از صفر است دیود در حالت معکوس قرار گرفته و جریانی از خود عبور نمی دهد. در این وضعیت ولتاژ خروجی برابر صفر می باشد. از آنجایی که این مدار نصف موج سینوسی را عبور می دهد به آن یکسو ساز نیم موج می گویند. می توان با استفاده از پل دیودی یکسو ساز تمام موج ساخت. یعنی در تمام زمانها مقدار ولتاژ خروجی برابر قدر مطلق ولتاژ ورودی است، در این مدار از پل دیودی تمام موج استفاده شده (شکل۶). در ادامه از یک خازن برای هموار شدن ولتاژ استفاده می شود. کار خازن جمع کردن مقدار بالایی از جریان و خروج آن به صورت آرام است و

[1]Operational amplifier (op-amp)

ورودی به رشته های برآمده ای همانند سازی می شود، به طوری که خروجی خازن چیزی با ولتاژ ثابت با حرکت موج و درهم و برهم است. در کنار پل دیودی مولتی ترن کوچکی برای تغییر گین مدار قرار دارد که در نهایت تعیین کننده شیب نمودار کالیبراسیون است و در قسمت پایین مدار مولتی ترن دیگری قرار دارد که بایاس یا عرض از مبدا نمودار کالیبراسیون را تنظیم می کند (Liptak, B. G., 2003).

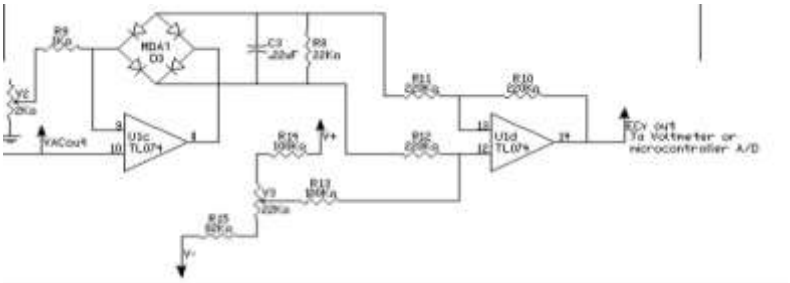

Figure 6. AC to DC converter

شکل۶- یکسو سازی ولتاژ و اضافه شدن بهره و بایاس

۲-۲ - رابط کاربری اتصال به میکروکنترلر

در این قسمت از یک فیلتر پایین گذر برای گرفتن ریپل های نهایی و ثابت کردن ولتاژ خروجی استفاده می شود، از دیود ها برای محدود کردن مقدار خروجی(از صفر تا مقدار ولتاژ Vcc که برای میکروکنترلر ۵ ولت است) به کار می رود (شکل ۷).

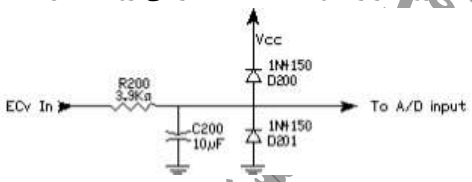

Figure 7. Microcontroller A/D interface

شکل۷- رابط کاربری اتصال به میکروکنترلر

۲-۳ - پروب ها

پروب های EC سنج موجود در بازار به دو دسته تقسیم می شوند (شکل۸) صنعتی و آزمایشگاهی. از پروب های صنعتی برای دستگاه های بسیار پیشرفته استفاده می شود و قابلیت ماندگاری مداوم درون محلول را دارد ولی پروب های آزمایشگاهی برای حس کردن لحظه ای استفاده می شود و بعد از هر بار استفاده باید از محلول خاج گردد و با آب مقطر شسته و خشک شود. پروب دستی باید با محلول(اکسیژن و هیدروژن ناشی از الکترولیز) واکنش ندهد. ضد زنگ باشد. مقاومت بسیار کمی داشته باشد و بتواند ولتاژ کم نوسانی (نسبتاً ثابت به ازاء هر EC منحصر بفرد) را عبور دهد. جنس الکترودهای پیشنهادی گرافیت و سیم های نیکل کروم است.

Figure 8. Industrial probe (left side) and laboratory probe (right side)

شکل۸- پراب آزمایشگاهی(سمت راست) و پراب صنعتی(سمت چپ)

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

پروب گرافیتی:

ابتدا نکته ای که باید به آن توجه شود این است که برای کالیبراسیون راحت تر و دقیق تر باید فاصله الکترود ها از هم یک سانتی متر باشد زیرا EC بر حسب میلی زیمنس یا میکرو زیمنس بر یک سانتی متر خوانده می شود. برای پروب گرافیتی از گرافیت های موجود در موتور های الکتریکی استفاده شد (شکل ۹) که در بازار آن را به عنوان ذغال موتور های الکتریکی می شناسند. از یک استوانه خالی برای قرار گیری پروب ها استفاده گردید به این صورت که فقط اندکی از گرافیت حدود ۳ میلی متر بیرون و در تماس با محلول باشد زیرا هر چه سطح تماس کمتر باشد نوسان ولتاژ کمتر خواهد بود. برای جلوگیری از ورود آب به داخل پروب با چسب آکواریوم کاملا درز بندی گردید.

Figure 9. Graphite probe made with a pair of carbon brushes

شکل ۹- پروب گرافیتی ساخته شده با ذغال گرافیتی

۳- نتایج و بحث

جهت کالیبراسیون ابتدا چندین EC استاندارد به وسیله آب مقطر و نمک در رنج کاری تهیه شد. محلول هایی با EC های ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ میلی زیمنس و با EC سنج مدل BANTE ۵۳۰ (شکل ۱۰) به عنوان EC سنج مرجع تهیه نمود. برای ارزیابی پروب ها و دقت آن هر پروب را در هر یک از محلول ها قرار داده شد و ولتاژ خروجی برای هر محلول یادداشت گردید. در ادامه با نرم افزار EXCEL نمودار ولتاژ بر حسب EC رسم شد، روابط رگرسیونی جهت تعیین معادله کالیبراسیون و مقدار خطا محاسبه و رسم گردید، این آزمایش در سه تکرار با محلول های تصادفی در رنج کاری مورد نظر با فواصل اندک انجام شد.

Figure 10. Reference EC meter (BANTE 530) and desired EC solutions

شکل ۱۰- EC سنج مرجع مدل BANTE 530 و چندین نمونه EC در رنج کاری مورد نظر

۴- نتیجه گیری

پس از ارزیابی سامانه، نمودار های خروجی مدار، خطای اندازه گیری و معادله های رگرسیونی رسم شد. برای الکترود ارزان قیمت آزمایشگاهی و پروب گرافیتی نتایج در قالب شکل های (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) ارائه شده است.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

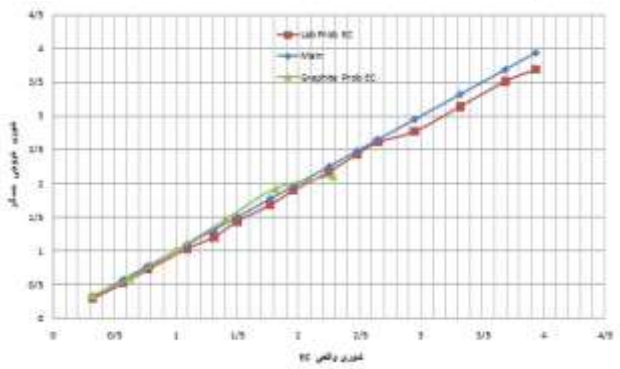

Figure 11. Experimental results of measuring the electrical conductivity of the electrolytes for laboratory probe and graphite probe (mS/cm)

شکل ۱۱- نتایج میانگین خروجی اندازه گیری EC محلولهای الکترولیت برای دو پروب آزمایشگاهی و گرافیتی (mS/cm)

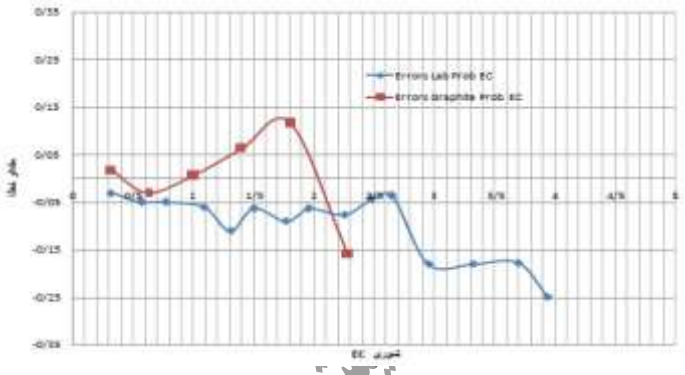

Figure 12. Errors values occurring in measuring the electrical conductivity of the electrolytes solutions for laboratory probe and graphite probe

شکل ۱۲- خطا های خروجی اندازه گیری EC محلولهای الکترولیت برای دو پروب آزمایشگاهی و گرافیتی (mS/cm)

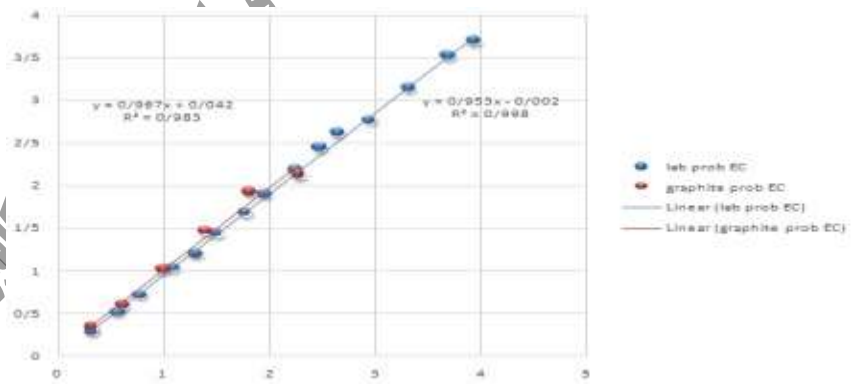

Figure 13. Regression equations and accuracy estimation for each probes

شکل ۱۳- معادله های رگرسیونی و تخمین دقت معادله ها برای هر پروب

با توجه نمودار های خروجی مدار می توان به این نتیجه رسید که پروب گرافیتی قابلیت اندازه گیری در بازه های ۰/۳ تا ۲/۲ میلی زیمنس را دارا ست و خطای اندازه گیری در این بازه، ۰/۱۶- تا ۰/۱۶+ میلی زیمنس می باشد. پروب ارزان آزمایشگاهی دارای قابلیت اندازه گیری در بازه ، ۰/۳ تا ۳/۹۴ میلی زیمنس با سختی k=0.974 بود و خطای اندازه گیری در این بازه، ۰/۲۵- تا ۰/۲۵+ میلی زیمنس می باشد. می توان نتیجه گرفت در محلول هایی با EC کمتر از ۲/۲ میلی زیمنس، پروب گرافیتی عملکرد بهتری نسبت به پروب ارزان قیمت آزمایشگاهی دارا ست اما در محلول هایی با EC های بزرگتر از ۲/۲ میلی زیمنس عملکرد پروب آزمایشگاهی نسبت به پروب گرافیتی بهتر است. مدار طراحی شده بدلیل استفاده از جریان متناوب با فرکانس بالا

دارای ثبات بالایی بوده و تغییرات خروجی در طول زمان بسیار اندک بود. همچنین از اکسید شدن پروبها در طول زمان جلوگیری می کند. به دلیل استفاده از مدار تغییر بهره و بایاس، این مدار با پروبهای مختلف استاندارد و یا دست ساز قابل استفاده است.

۵- مراجع

Abou-Hadid, A. F., Abd-Elmoniem, E. M., El-Shinawy, M. Z. & Abou-Elsoud, M. (1995). Electrical conductivity effect on growth and mineral composition of lettuce plants in hydroponic system. Strategies for Market Oriented Greenhouse Production 434, pp.59-66.

Anonymous. (2002). Hydroponics, Extension and Training Centre, Department of Agriculture, Sri Lanka.

Bugbee, B. (1995). Nutrient management in recirculating hydroponic culture. Proceedings from the Hydroponic Society of America. pp. 15-30.

Dingman, S. L. (2002). Physical Hydrology, 2nd ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, page 614.

Domingues, D. S., Takahashi, H. W., Camara, C. A. & Nixdorf, S. L. (2012). Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. Computers and electronics in agriculture, 84, pp.53-61.

Filgueiras, R. C., Takahashi, H. W. & Beninni, E. R. Y. (2002). Produção de alface hidropônico em diferentes condutividades elétricas. Semina: Ciências Agrárias, 23, pp.157-164.

Furlani, P. R., Silveira, L. C. P., Bolonhezi, D. & Faquin, V. (1999). Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: Instituto Agronômico.

Hayashi, M. (2004). Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion. Environmental monitoring and assessment, 96(1-3), pp.119-128.

Helbel Junior, C., Rezende, R., Freitas, P. S. L. D., Gonçalves, A. C. A. & Frizzone, J. A. (2008). Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica. Ciência e Agrotecnologia, 32(4), pp.1142-1147.

Hiscock, K. M., Dennis, P. F., Saynor, P. R. and Thomas, M. O. (1996). Hydrochemical and stable isotope evidence for the extent and nature of the effective Chalk aquifer of north Norfolk, UK. Journal of Hydrology, 180(1-4), pp.79-107.

Kobayashi, D. (1986). Separation of a snowmelt hydrograph by stream conductance. Journal of Hydrology, 84(1-2), pp.157-165.

Liptak, B. G. (2003). Instrument Engineers' Handbook, Volume One: Process Measurement and Analysis. CRC press.

Nielsen, N. E. (1984). Crop production in recirculating nutrient solution according to the principle of regeneration. In 6. International Congress on Soilless Culture, Lunteren (Netherlands), 29 Apr-5 May 1984. ISOSC.

Samarakoon, U. C., Weerasinghe, P. A. & Weerakkody, W. A. P. (2006). Effect of electrical conductivity [EC] of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (Lactuca sativa L.) in stationary culture. Tropical Agricultural Research, 18, p.13.

Schwarz, M. (1995). Soilless Culture Management: Advance Series in Agricultural Sciences, Springer, Germany.

Yechieli, Y., Kafri, U., Goldman, M., & Voss, C. (2001). Factors controlling the configuration of the fresh–saline water interface in the Dead Sea coastal aquifers: synthesis of TDEM surveys and numerical groundwater modeling. Hydrogeology Journal, 9(4), 367-377.