



IDRG

Irrigation & Drainage Research Group

گروه پژوهشی آبیاری و زهکشی

شرکت فن آب گستر البرز

<http://www.SoilWaterPlant.com>

تلفکس: 02923034882

موبایل: 09122530734

IDRG SMS-T1

سامانه اتوماتیک اندازه گیری و ثبت رطوبت و دمای خاک



IDRG

IDRG



مقدمه

مانیتورینگ پیوسته رطوبت و دمای خاک در زمینه‌های مختلفی از قبیل هیدرولوژی، خاکشناسی، ژئوتکنیک، اکولوژی، هواشناسی و کشاورزی از اهمیت بسزایی برخوردار است. اما تقریباً تمام سنسورهای موجود در بازار ایران خارجی، گران قیمت، دارای امکانات محدود و غیرقابل اتصال به رایانه می‌باشند. هدف ما توسعه یک سامانه مانیتورینگ رطوبت و دمای خاک بود که مزایای دقت بالا، امکان داده برداری رایانه‌ای، زمان واکنش کوتاه، عدم نیاز به تعمیر و نگهداری، اصلاح تاثیر دما و حتی امکان تأثیر ناپذیری از نمک‌های موجود در خاک و هزینه نسبتاً پایین را ترکیب کند.

بر این اساس، مهمترین ویژگی‌های سامانه IDRG SMS-T1 عبارتند از اندازه‌گیری دمای خاک، اندازه‌گیری رطوبت در خاک‌های شور، مجهز به دیتالاگر اختصاصی و نرم‌افزار تحت ویندوز با قابلیت‌های فراوان، قابلیت کارگذاری در عمق خاک برای مدت طولانی، عدم

نیاز به تعمیر و نگهداری و بسیاری ویژگی‌های دیگر که آنرا برای کاربردهای پژوهشی ایده‌آل می‌سازد.

از دیدگاه کاربری، سامانه حاضر از دو بخش اصلی تشکیل شده است که عبارتند از پروب رطوبت و دماسنجی که در داخل خاک دفن می‌گردد و یک دیتالاگر که از یک طرف به پروب و از سمت دیگر به رایانه متصل می‌شود. یک برنامه رایانه‌ای اختصاصی نیز برای این هدف توسعه داده شده که بر راحتی امکان پایش، ذخیره داده‌های برداشت شده در رایانه و حافظه دیتالاگر و کالیبراسیون پروب را فراهم می‌کند. شایان ذکر است که دیتالاگر به صورت مستقل از کامپیوتر نیز قابل پیکره‌بندی است و توانایی مانیتورینگ و ثبت داده‌های دما و رطوبت خاک را دارا می‌باشد.



الف) اجزای سامانه

- 1- دیتالاگر
- 2- پروب رطوبت و دماسنجی
- 3- منبع تغذیه
- 4- رابط کاربر گرافیکی (نرم افزار)

1- دیتالاگر

دیتالاگر دارای یک هسته میکروکنترلری، حافظه غیر فرار (E^2PROM)، مدار شارژ و سایر مدارات جانبی است (شکل 1). دیتالاگر قابلیت ذخیره 20000 داده دما و 20000 داده رطوبت را در حافظه غیر فرار خود داشته و به صورت مستقل از رایانه یا متصل به آن توانایی پایش و ثبت داده دارد.

سخت افزار و نرم افزار دیتالاگر به شکلی طراحی شده است که برای داده برداری در فواصل زمانی مشخص به صورت خودکار قابل تنظیم، قابل پیکره بندی در چهار مد عملکرد متفاوت (لاگر، ریدر، مانیتور و کامپیوتر) و مجهز به صفحه کلید و صفحه نمایش کوچک برای برای قرائت دستی در مزرعه یا آزمایشگاه می باشد. برنامه ریزی سخت افزاری دیتالاگر نیز به گونه ای است که امکان انجام انواع تنظیمات از طریق منوی دستگاه وجود دارد. مشاهده ضرایب کالیبراسیون، مرور یا حذف داده های موجود در حافظه دیتالاگر به صورت دستی، مشاهده ولتاژ منبع تغذیه دستگاه، انتخاب مد عملکرد و تنظیم زمان داده برداری از جمله این امکانات هستند. علاوه بر این، دیتالاگر مجهز به رابط سخت افزاری USB و رابط نرم افزاری (رابط کاربر گرافیکی) اختصاصی است.

1-2- دقت و رزلوشن دستگاه



رزلوشن (قدرت تفکیک) دیتالاگر برای قرائت رطوبت خاک معادل $0.001 \text{ m}^3/\text{m}^3$ می باشد. دقت اندازه گیری رطوبت بستگی به ملاحظات بسیاری دارد و در نهایت با توجه به کالیبراسیون انجام شده توسط کاربر تعیین می شود.

دمای خاک نیز با دقت ± 0.5 درجه و رزلوشن 0.1 درجه سانتیگراد توسط دیتالاگر اندازه گیری می شود.





2- پروب رطوبت و دماسنجی

دسته‌ای از روش‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک به عنوان روش - های دی‌الکتریک شناخته می‌شوند. این روش‌ها، رطوبت حجمی خاک را بوسیله اندازه‌گیری گذردهی (یا ثابت دی‌الکتریک) توده خاک، Ka_v ، که سرعت یک موج الکترومغناطیس یا پالس از میان خاک را مشخص می‌کند برآورد می‌نمایند. در یک ماده مرکب نظیر خاک که از اجزای متفاوتی نظیر مواد معدنی، هوا و آب تشکیل شده است، مقدار گذردهی به وسیله سهم نسبی هر یک از اجزا مشخص می‌شود. از آنجایی که در دمای یکسان، ثابت دی‌الکتریک آب مایع ($Ka_w = 81$) خیلی زیادتر از سازندهای دیگر خاک ($Ka_s = 2-5$) برای مواد معدنی خاک و 1 برای هوا) است، گذردهی مجموع خاک یا گذردهی حجمی اساساً توسط آب مایع رقم می‌خورد. در روش‌های دی‌الکتریک، روابط کالیبراسیون شده تجربی بین رطوبت حجمی

خاک و سیگنال خروجی سنسور (زمان، فرکانس، امپدانس، فاز موج) مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل 2- پروب رطوبت و دماسنج خاک

جدیدترین روش‌های دی‌الکتریک که بر پایه بازتاب سنجی حوزه فرکانس کار می‌کنند تحت عنوان سنسورهای FDR شناخته می‌شوند. سنسور رطوبت و دمای خاک حاضر (شکل 2)، بر پایه بازتاب-سنجی حوزه فرکانس طراحی شده و مبنای اندازه‌گیری آن، ظرفیت



الکتريکي یک خازن است که محیط متخلخل خاک نقش دی-الکتريک آن را بازی می کند. با توجه به بالاتر بودن ثابت دیالکتريک آب نسبت به سایر مواد تشکیل دهنده خاک، هرگونه تغییر در رطوبت خاک منجر به تغییر در خروجی سنسور شده و بعد از کالیبراسیون مبنای اندازه گیری رطوبت حجمی خاک قرار می گیرد.

2-1 روش اندازه گیری رطوبت

خروجی یک اسیلاتور مولد پالس مربعی، پس از تقویت، از طریق پروب به خاک اعمال می گردد که در این حالت موج بازتاب شده از خاک، منعکس کننده وضعیت رطوبتی خاک خواهد بود (یعنی، انعکاس سنجی حوزه فرکانس). بخش فلت پروب در حقیقت نقش الکترودهای خازن را بازی می کنند (شکل 2). موج بازتاب شده با یک فرکانس مرجع مقایسه شده و خروجی آن طی چند مرحله فیلتر



پایین گذر برای تقویت به یک تقویت کننده عملیاتی بسیار دقیق فرستاده می شود.

2-2 اندازه گیری دمای خاک

دمای خاک پارامتر بسیار مهمی است که با استفاده از یک سنسور دماسنج فوق العاده دقیق که بر روی برد تعبیه شده به صورت بلادرنگ اندازه گیری و به دیتالاگر ارسال می شود. در واقع اندازه گیری دما و رطوبت خاک به صورت همزمان و با نرخ داده برداری یکسان انجام می گیرد.

3- منبع تغذیه

3-1 باتری قابل شارژ

دیتالاگر در درجه نخست توان مورد نیاز خود را از یک باتری قابل شارژ 9V کتابی تامین می کند که با رعایت پلاریته (قطب مثبت



و منفی) در محفظه جابجایی، واقع در پشت جعبه دیتالاگر قرار داده می‌شود. در صورت شارژ اصولی، این باتری تا مدت‌ها نیاز به تعویض نخواهد داشت.

3-3 آداپتور

با توجه به محدودیت ظرفیت باتری و همچنین متفاوت بودن توان مصرفی دستگاه در هریک از مدهای عملکرد خود، یک آداپتور اختصاصی نیز برای دیتالاگر در نظر گرفته شده است (شکل 3). این منبع تغذیه با توجه به مد عملکرد در یکی از دو وضعیت شارژر یا آداپتور قرار می‌گیرد. تغییر وضعیت منبع تغذیه بسادگی و با تغییر وضعیت کلید شاسی تعبیه شده بر روی جعبه آداپتور امکان‌پذیر خواهد بود (شکل 4). در صورتیکه کلید شاسی وضعیت خاموش را نشان دهد شارژر بوده، و در غیر اینصورت تبدیل به آداپتور می‌شود.





پایین تر از یک مقدار مشخص، دیتالاگر به صورت منظم ولتاژ تغذیه خود را اندازه گرفته و مدیریت می نماید.

4- رابط کاربر گرافیکی

نرم افزار دستگاه (شکل 5) امکان برنامه ریزی فواصل زمانی داده برداری، پایش رطوبت و دمای خاک و ذخیره داده های برداشت شده در کامپیوتر را فراهم می نماید. داده ها به انتخاب کاربر به صورت خام یا بر حسب درصد ثبت می شوند. در بخش تنظیمات و برنامه ریزی نرم افزار امکان تعیین فواصل داده برداری وجود دارد. فاصله بین داده برداری ها از 10 ثانیه تا 24 ساعت قابل برنامه ریزی می باشد. فرکانس نمونه برداری با فرکانس داده برداری متفاوت بوده و به صورت سفت افزاری، 0.2 هرتز (یک قرائت در هر پنج ثانیه) تعیین شده است.



کلید تبدیل شارژر به آداپتور

شکل 4- منبع تغذیه (نمای کناری). در صورتیکه کلید وضعیت خاموش را نشان دهد شارژر، و در غیر اینصورت تبدیل به آداپتور می شود.

4-3- مدیریت توان مصرفی

با توجه به اهمیت بسیار بالای حفظ توان باتری دیتالاگر، همچنین بی اعتبار بودن قرائت داده های رطوبت و دما در ولتاژهای



مرور نرم افزار

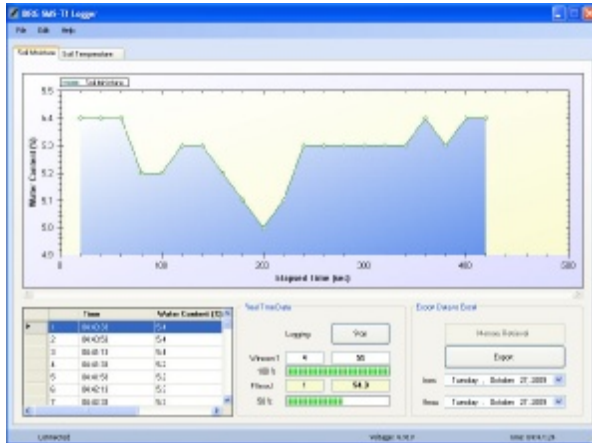
صفحه اصلی نرم افزار از دو سربرگ (Tab) تشکیل شده که یکی به مانیتورینگ دما و دیگری رطوبت خاک اختصاص داده شده است (شکل های 6 و 7).

با توجه به ذات سامانه که دقت آن تحت تاثیر انواع عوامل محیطی است، مکانیزم هایی نظیر فیلتراسیون داده به صورت به هنگام با استفاده از روش های میان گیری غلتان (rolling average) و حسابی و امکان کالیبراسیون، جهت تعدیل خطا به صورت نرم افزاری پیش-بینی شده اند.

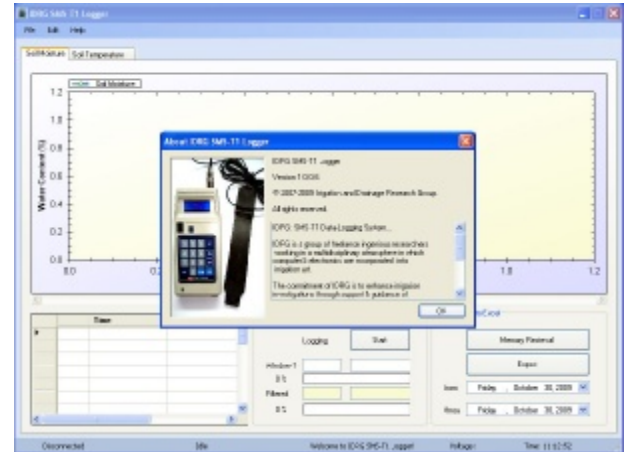
از دیگر امکانات رابط کاربر طراحی شده می توان به تشخیص اتوماتیک اتصال یا عدم اتصال داده نگار و سنسور رطوبت سنج، نمایش ولتاژ منبع تغذیه داده نگار، نمایش گرافیکی دما و رطوبت خاک به صورت به هنگام، ارسال/دریافت ضرایب کالیبراسیون سنسور به/از داده نگار، بازیابی حافظه داده نگار و ارسال مستقیم به نرم افزار مایکروسافت اکسل اشاره کرد.

1-4 سیستم مورد نیاز

Pentium III, 256 Mb RAM, 100Mb free hard disk space for installation files and enough space for data, Win XP/Vista



شکل 6- منحنی تغییرات رطوبت خاک (Soil Moisture Tab)

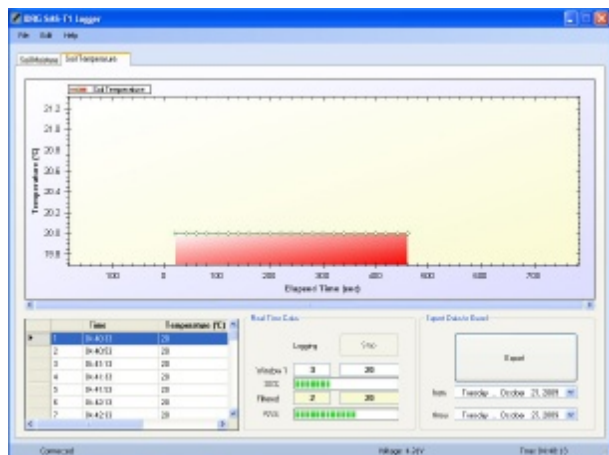


شکل 5- رابط کاربر گرافیکی (IDRG SMS-T1 Logger)



ب) دقت اندازه گیری

علیرغم قابلیت‌های سامانه، فاکتورهای بسیاری دقت نهایی داده-های رطوبت خاک را محدود می‌کنند. علاوه بر رطوبت خاک، مقدار املاح، درجه حرارت و بافت خاک نیز بر روی قرائت سنسورهای نوع بازتاب سنج حوزه فرکانس موثر می‌باشند. جبران اثرات تغییر دما نسبتاً ساده است زیرا اثر خطی آن بر روی پروب، به سادگی با اندازه‌گیری دما قابل اصلاح است. علاوه بر آن بافت خاک، یک خاصیت استاتیکی است. اگر نقشه مزرعه از نظر بافت خاک در دسترس باشد، اثرات بافت خاک بر روی اندازه‌گیری‌های دی‌الکتریک قابل تخمین زدن می‌باشد. با کالیبراسیون ویژه خاک نیز می‌توان اثر بافت خاک را حذف نمود. بنابراین، ملاحظات مربوط به حرارت و بافت خاک به سادگی بر روی داده‌ها انجام می‌شود و فقط تاثیر دو فاکتور رطوبت و شوری (املاح خاک) بر روی قرائت سنسور باقی می‌ماند.



شکل 7- منحنی تغییرات دمای خاک (Soil Temperature Tab)



1- کاهش تاثیر شوری خاک

کلیه قطعات الکترونیکی و الکترودهای خازن بر روی برد مدار چاپی تعبیه و این برد توسط لایه‌ای از یک ماده شیمیایی در برابر رطوبت خاک ایزوله شده‌اند. کل برد نیز در داخل یک محفظه پلاستیکی قرار گرفته و با پوششی از وارنیش حرارتی برای تاثیر ناپذیری از شوری خاک به طور کامل پوشیده شده است. این پوشش - ها اجازه خواهند داد تا سنسور بدون نگرانی از اثرات محیط خاک و نیاز به تعمیر و نگهداری، برای مدت طولانی در عمق خاک کار گذاشته شود.

تغییرات دمای خاک با فاصله از سطح زمین کم می‌شود. بنابراین، در مواردی که سنسور در عمق خاک نصب می‌گردد، نگرانی از تغییر دمای خاک وجود ندارد. در مواردی که سنسور در نزدیکی سطح خاک نصب می‌گردد، مدل کردن تاثیر نوسانات دما بر داده‌های قرائت شده نیز یک راه موثر برای افزایش دقت اندازه‌گیری رطوبت می‌باشد. در صورتیکه دمای خاک و دمایی که کالیبراسیون در آن صورت گرفته است متفاوت می‌باشند، اعمال ضرایب اصلاح دما کمک شایانی به افزایش دقت اندازه‌گیری‌ها خواهد نمود.

نکته 1: دمای اندازه‌گیری شده توسط دیتالاگر، متوسط دمای خاک در طول پروب می‌باشد.

نکته 2: به طور تقریبی قرائت رطوبت خاک به ازای هر 10°C تغییر در دمای پیرامون پروب، حدود 1% تغییر می‌کند.

2- کاهش تاثیر تغییرات دما

تغییر دمای خاک به دو طریق بر روی اندازه‌گیری‌ها تاثیرگذار است: نخست، تاثیر بر روی قطعات الکترونیکی و دوم، تغییر مقدار دی‌الکتریک آب خاک. اما، مشاهدات تجربی مشخص نموده است که



3- میانگین گیری غلتان

در این روش، از تعدادی داده متوالی به روش غلتان میانگین گیری می شود. این فیلتر نرم افزاری، به صورت به هنگام از داده های ورودی میانگین گرفته و داده های خروجی را تولید می کند. ورودی فیلتر مستقیماً از دیتا لگر که نتیجه قرائت سیگنال سنسور رطوبت-سنج را به کامپیوتر ارسال می کند برداشته می شود. با انجام عملیات بر روی جدیدترین M مجموعه داده، N داده که بزرگتر یا کوچکتر از آستانه (Threshold) تعیین شده باشند از پنجره داده ها حذف خواهند شد. همانگونه که در معادله 1 آمده است، M-N داده باقیمانده میانگین گیری می شوند:

$$y[i] = \frac{1}{M-N} \sum_{j=0}^{M-(N+1)} x[j] \quad (1)$$

در معادله (1)، y: نتیجه میانگین گیری M-N داده می باشد.

4- کالیبراسیون پروب رطوبت سنج



یک رویکرد رایج جهت برقراری رابطه بین ثابت دی الکتریک آب Ka_b ، و رطوبت حجمی خاک (VWC) معادله تجربی تاپ و همکاران (1980) است (معادله 2):

$$VWC = -5.3 \times 10^{-2} + 2.29 \times 10^{-2} Ka_b - 5.5 \times 10^{-4} Ka_b^2 + 4.3 \times 10^{-6} Ka_b^3 \quad (2)$$

رابطه 2 برای بیشتر خاک های معدنی (مستقل از ترکیب و بافت خاک) و رطوبت خاک کمتر از 50 درصد پاسخگو است. اما، برای رطوبت های بیشتر، مواد آلی یا خاک های آتشفشانی، یک کالیبراسیون ویژه نیاز است.

از آنجاییکه، قرائت دستگاه حاضر به صورت اعداد خام و تا درصدی وابسته به نوع خاک است، کالیبراسیون ویژه خاک برای حصول دقت بالا امری ضروری است. به این منظور، سه روش برای کالیبراسیون پروب پیشنهاد می گردد:

1) کالیبراسیون در آزمایشگاه با استفاده از ترازو

2) استفاده از دستگاه رطوبت سنج TDR



3) کالیبراسیون به روش ثقلی

4-1 کالیبراسیون در آزمایشگاه با استفاده از ترازو

دستورالعمل کالیبراسیون به اینصورت است که سنسور در داخل ظرفی محتوی خاک قرار داده شده، از آب اشباع می‌گردد (ترجیحا با EC مشابه خاک محل اندازه‌گیری در مزرعه) و تغییرات وزن مجموعه و قرائت خام سنسور در حالت Logger به صورت همزمان ثبت می‌گردند.

زمانیکه تغییر قرائت سنسور به سمت یک مقدار مشخص میل نمود (عدم تغییر معنی‌دار)، نمونه خاک ظرف برای تعیین درصد رطوبت به آن منتقل می‌گردد. پس از تکرار آزمایش، بین داده‌های خام قرائت شده توسط سنسور و مقادیر مشخص وزن یک رابطه همبستگی بدست می‌آید. ضرایب این معادله وارد نرم افزار سامانه می‌شوند تا به صورت به‌هنگام بر روی داده‌های برداشت شده اعمال



گردند. داده‌هایی که پس از این توسط نرم‌افزار بر روی کامپیوتر ذخیره می‌شوند بر حسب درصد خواهند بود.

4-2 استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج TDR

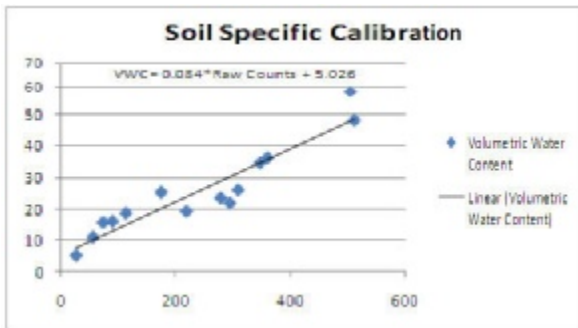
با توجه به اعتبار و مقبولیت داده‌های دستگاه TDR، می‌توان رطوبت خاک مورد نظر را به صورت همزمان با استفاده از دستگاه TDR و دستگاه حاضر اندازه‌گیری کرده و در نهایت بین داده‌های بدست آمده رابطه همبستگی برقرار نمود.

4-3 کالیبراسیون به روش ثقلی

این روش گرچه مستعد خطای زیادی است، اما معمول‌ترین شیوه کالیبراسیون سنسورهای رطوبت‌سنج است. برای کالیبراسیون به این روش، سنسور رطوبت‌سنج در عمق خاک کار گذاشته شده و در فواصل زمانی مشخص، رطوبت خاک به صورت قرائت خام سنسور در



روش (مثلا داده‌های رطوبت حجمی از روش ثقلی) روی محور Y آن قرار گرفته است ایجاد کنید (شکل 8).



شکل 8: رسم داده‌های کالیبراسیون نمونه. معادله کالیبراسیون ویژه خاک در گوشه چپ، بالای ناحیه گراف قابل مشاهده است.

حالت Logger برداشت می‌گردد. به صورت همزمان، از خاک نمونه- برداری شده و برای تعیین درصد رطوبت، وزن تر و خشک آن محاسبه می‌گردد. مشابه دو روش پیش، بین قرائت خام سنسور رطوبت سنج و داده‌های بدست آمده از روش ثقلی رابطه همبستگی برقرار می‌گردد.

4-4 محاسبه معادله کالیبراسیون

برای برقراری رابطه همبستگی بین قرائت خام سنسور رطوبت- سنج و داده‌های بدست آمده به هریک از سه روش ذکر شده در بالا، یکی از دو رویکرد خطی یا درجه دوم بکار برده می‌شود.

پس از داده برداری، با انتقال داده‌های بدست آمده به یک نرم‌افزار صفحه گسترده نظیر Excel، یافتن معادله کالیبراسیون بسیار ساده خواهد بود. به این ترتیب که یک scatter plot که داده‌های خروجی سنسور حاضر روی محور X و داده‌های بدست آمده از هریک از سه



سپس تابع trendline یا curve fitting را برای ساخت مدل ریاضی رابطه مورد استفاده قرار دهید. این رابطه اغلب خطی است، اما گاهی اوقات، خصوصا در خاک‌های دارای مواد آلی بالا، با یک رابطه درجه دوم بهتر برازش می‌شود. زمانیکه تابع کالیبراسیون مورد نیاز را بدست آوردید، می‌توانید ضرایب کالیبراسیون را وارد نرم‌افزار IDRG SMS-T1 Logger نموده و در صورت تمایل در حافظه دیتالاگر نیز بارگذاری (Upload) نمایید.



گروه پژوهشی آبیاری و زهکشی

شرکت فن آب گستر البرز