وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

نشریه فنی

اصول و روش‌های آزمایشات تنش شوری در تحقیقات کشاورزی

نویسندگان:

امین آناقلی

استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری

غلامحسن رنجبر

استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری

شماره ثبت کتابخانه: ۵۵۸۱۰

۱۳۹۸

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۴
۲- آزمایشات شوری در مرحله جوانه‌زنی ۷
۲-۱- انتخاب بذرهای آزمایشی ۷
۲-۲- بستر مورد استفاده در پتری دیش ۷
۲-۳- نور در آزمایشات جوانه‌زنی ۹
۲-۴- دما و طول مدت آزمایش جوانه‌زنی ۹
۲-۵- محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی ۱۰
۲-۶- تهیه محلول‌های شور با نمک‌های مختلف ۱۱
۲-۷- تبدیل داده‌های درصد جوانه‌زنی ۱۴
۳- آزمایشات شوری در مراحل رشد رویشی و زایشی ۱۵
۳-۱- آزمایشات هیدروپونیک ۱۵
۳-۱-۱- تهیه محلول‌های غذائی ۱۶
۳-۱-۲- کشت در محیط ماسه نرم(داخل باکس) ۱۸
۳-۱-۳- استفاده از لوله‌های پولیکا ۲۰
۳-۱-۴- روش بازچرخ محلول غذائی ۲۱
۳-۲- آزمایشات خاکی ۲۳
۳-۲-۱- کشت گلدانی با بستر خاک ۲۳
۳-۲-۱-۱- اندازه گلدان ۲۴
۳-۲-۱-۲- تفاوت داشتن رنگ گلدان ۲۷
۳-۲-۱-۳- محیط رشد ۲۷
۳-۲-۱-۴- روش پر کردن ستون‌های دست خورده خاک ۲۹
۳-۲-۱-۵- جانمائی گلدان‌ها برای آزمایش گلخانه‌ای ۳۱
۳-۲-۱-۶-کنترل شوری در شرایط بدون زهکشی گلدان‌ها ۳۱
۳-۲-۱-۷- کنترل شوری در شرایط وجود زهکش در گلدان‌ها ۳۳
۳-۲-۱-۸- تاثیر تنش خشکی در آزمایشات شوری ۳۵
۳-۲-۲- آزمایشات مزرعه‌ای ۳۸

۳-۲-۲-۱- کنترل شوری در مزرعه _____ ۴۰
۳-۲-۲-۲- نکات مهم در انجام آزمایشات مزرعه‌ای در شرایط شور _____ ۴۳
۳-۲-۲-۳- نکات آماری در آزمایشات کشاورزی در شرایط شور _____ ۴۵
۴- منابع _____ ۴۷

۱- مقدمه

تولید محصولات کشاورزی در جهان با چالش‌های فراوانی روبرو است مثل تولید ۷۰ درصد محصول بیشتر برای ۲/۳ میلیارد افزایش جمعیت تا سال ۲۰۵۰ (حسن‌الزمان،۲۰۱۳). تنش شوری، به عنوان یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تولیدات کشاورزی نزدیک به یک قرن است که موضوع بسیاری از تحقیقات جهانی بوده است.بیش از ۶ درصد از مساحت اراضی کره زمین متاثر از نمک می‌باشد(مونش،۲۰۰۵). در ایران گزارش‌های متفاوتی از وضعیت شوری موجود است. یکی از قدیمی‌ترین گزارش‌ها در مورد وضعیت شوری ایران مربوط به گزارش دیوان و فاموری(۱۹۶۴) است که مساحت خاک‌های شور و قلیا را ۱۲/۵ درصد از کل مساحت کشور عنوان کردند. برخی گزارش‌های دیگر میزان اراضی شور کشور را ۲۵ تا ۲۷ میلیون هکتار (۱۵ تا ۱۷ درصد مساحت کشور) گزارش کرده‌اند(لی‌هور،۱۹۹۳؛ سیاری و محمودی،۲۰۰۲). بر اساس یک تخمین دیگر در حدود ۳۴ میلیون هکتار (۲۰ درصد مساحت کشور) متاثر از نمک می‌باشد که ۲۵/۵ میلیون هکتار دارای شوری کم تا متوسط و ۸/۵ میلیون هکتار با شوری بالا می‌باشد(مومنی و همکاران، ۱۹۹۹). از لحاظ اراضی زراعی نیز تخمین زده شده که ۶/۸ میلیون هکتار بدرجات مختلف دارای مشکل شوری باشد(مومنی، ۱۳۸۹). بر اساس برآورد بنائی و همکاران(۱۳۸۳) از ۷/۳ میلیون هکتار اراضی فاریاب کشور ۳/۵ میلیون هکتار آن به درجات مختلف مبتلا به شوری خاک، آب و یا هر دو می‌باشد. به همین خاطر نشریات، مقالات و دستورالعمل‌های بسیاری در ارتباط با مبحث شوری از گذشته تا کنون منتشر یافته است. از نشریات قدیمی و معتبر در این رابطه می‌توان به بریگز(۱۸۹۹)، وایت‌نی و می‌نر(۱۸۹۷)، گدرویز(۱۹۱۷)، گورتنر و همکاران(۱۹۲۴) و کی‌رنی و اسکوفیلد(۱۹۳۶) اشاره کرد. یکی از معتبرترین منابع نیز در این رابطه هندبوک خاک‌های شور و قلیا(ریچاردز، ۱۹۵۴) می‌باشد که هنوز نیز مورد استفاده محققین در سراسر دنیا می‌باشد.

منابع موجود داخلی نیز نشان می‌دهد که تحقیقات به‌زراعی و به‌نژادی زیادی در ارتباط با گیاهان زراعی در شرایط شور به‌طور گسترده در دانشگاه‌ها و موسسات تحقیقاتی داخلی در طول حداقل نیم قرن اخیر انجام شده است (رنجبر و پیرسته انوشه، ۱۳۹۴). تنش شوری طبق تعریف به غلظتی از املاح محلول در آب یا خاک بر اساس واحد حجم یا واحد وزن گفته می‌شود که برای رشد و نمو گیاه محدودیت ایجاد می‌کند (هیل و ارکات، ۱۹۸۹؛ نیمن و شانون، ۱۹۷۶). بنابراین بسته به میزان تحمل گیاه به شوری، این میزان غلظت می‌تواند متفاوت باشد. اگرچه در یک تعریف عمومی یک

خاک وقتی شور محسوب می‌گردد که هدایت الکتریکی[1] عصاره اشباع آن در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد بیشتر از ۴دسی-زیمنس بر متر و درصد ظرفیت تبادل کاتیونی[2] آن کمتر از ۱۵ و pH نیز کمتر از ۸/۵ باشد (ریچارد، ۱۹۵۴).

بطورکلی میزان شوری اگرچه می‌تواند بر اساس غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در واحد مول بر لیتر (اکی‌والان بر لیتر) یا میلی‌گرم بر لیتر (ppm) برای عناصر اصلی و یا به صورت میکروگرم بر لیتر (bbp) برای عناصر کمیاب بیان می‌گردد، ولی در حالت مرسوم به صورت هدایت الکتریکی[3](EC) بیان می‌گردد(هانسون و همکاران، ۲۰۰۶). هدایت الکتریکی در سیستم متریک و به احترام ورنر ون زیمنس[4]بر اساس دسی‌زیمنس بر متر ($dS\ m^{-1}$)[5] بیان می‌گردد و معادل میلی‌موس[6] بر سانتی‌متر می‌باشد (آیرز و وسکات، ۱۹۸۵؛ رنجبر و آناقلی، ۱۳۹۷).

$$1\ dS\ m^{-1} \approx 0.06\%\ NaCl \approx 10\ mM\ L^{-1}\ NaCl \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) مقدار تقریبی نمک NaCl برای ایجاد شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر نشان داده شده است ولی عوامل مختلفی بر میزان هدایت الکتریکی یک محلول تاثیر می‌گذارند مثل نوع یون‌های نمکی، غلظت املاح و دما. دمای استاندارد برای برای قرائت هدایت الکتریکی یک محلول ۲۵ درجه سانتی‌گراد است (ریچاردز، ۱۹۵۴)، که در دستگاه‌های شوری سنج جدید، شوری نشان داده شده بر مبنای دمای استاندارد می‌باشد.

تنش شوری معمولا بخاطر «اثر اسمتیک» و «سمیت یونی» رشد گیاهان تحت تاثیر قرار می‌دهد و این اثرات تغییرات زیادی را در گیاه ایجاد می‌کنند که می‌توان به کاهش هدایت روزنه‌ای و کم شدن CO_2 درون سلولی، کاهش مقدار کلروفیل و تغییرات ساختمانی شدید در کلروپلاست، کاهش حجم سیتوپلاسم، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو، ممانعت از فعالیت برخی از آنزیم‌های چرخه کالوین، جمع شدن و تخریب غشاء تیلاکوئید از طریق تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، غیر فعال شدن انتقال الکترون به علت تجمع یون Na^+ در سیتوزول، ممانعت از انتقال الکترون از آب به P680 ، بهم ریختگی غشاء و غیرفعال کردن پروتئین‌های فتوسنتزی را نان برد(جاجو،۲۰۱۴). در واقع تجمع املاحی

1- Electrical conductivity
2- Cation exchange capacity
3- Electrical conductivity
4- Werner von Siemens
5- Decisiemens per meter ($dS\ m^{-1}$)
6- Millimhos

مانند کلسیم، منیزیم، سدیم، کربنات، بیکربنات و غیره باعث کاهش پتانسیل اسمزی شده و جذب آب توسط گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین یون‌هایی نظیر کلر، سدیم و یا بر به تنهایی می‌توانند موجب بروز سمیت در گیاه و یا بهم خوردن تعادل تغذیه‌ای در گیاه شده و در سازوکارهای جذب برخی عناصر ضروری توسط گیاه اختلال ایجاد کنند (رنجبر و آناقلی، ۱۳۹۷).

با توجه به اینکه مهارت‌های لازم برای انجام دقیق آزمایش تا حدود زیادی در اثر تجربه بدست می‌آید، لذا این مجموعه برای آشنایی بیشتر محققین با نحوه انجام آزمایشات تنش شوری و در میان گذاشتن تجربیات بدست آمده می‌باشد.

۲- آزمایشات شوری در مرحله جوانه‌زنی

یکی از ساده‌ترین و در عین حال سریعترین روش آزمایش میزان تحمل به شوری، آزمایشات جوانه‌زنی می‌باشد. مهمترین ابزار و مواد مورد نیاز در این آزمایشات، بذر گیاه مورد نظر به اندازه کافی، ظروف جوانه زنی (پتری دیش، جعبه و ...)، محلول آب شور و دستگاه‌های ژرمیناتور و محیط‌های رشد می‌باشد.ظروف مورد استفاده در آزمایشات جوانه‌زنی (پتری‌دیش و غیره) بایستی شفاف بوده که به راحتی نور از آن عبور نموده و به اندازه کافی بزرگ باشد تا بذرها بر روی یکدیگر قرار نگرفته و تجمع بذری ایجاد نشود.

۲-۱- انتخاب بذرهای آزمایشی

در آزمایشات پتری دیش و گلدانی تا حد امکان از بذرهای یکدست و سالماستفاده شود تا گیاهچه‌های بدست آمده از لحاظ بنیه شبیه هم باشند. به صورت یک قانون کلی(داویس و همکاران، ۲۰۱۵) درصورتی که محدودیتی از نظر میزان بذر وجود نداشته باشد، برای آزمایشات جوانه زنی معمولا بین ۲۵ تا ۵۰ بذر و ۴ تا ۱۰ تکرار در نظر گرفته می‌شود. با این‌حال درصورتیکه از نظر تعداد بذر محدودیت وجود داشته باشد، تعداد ۱۰ بذر در هر پتری دیش و در نهایت ۲ تا ۴ تکرار برای هر تیمار در نظر گرفته می‌شود (داویس و همکاران، ۲۰۱۵). بکاربردن تعداد بذر کمتر از ۱۰در هر پتری‌دیش نمی‌تواند از نظر آماری صحیح باشد. پس از انتخاب بذرها، از هیپوکلریت سدیم ۱ درصد (NaOCl) به مدت ۱۰-۱۵ دقیقه برای ضدعفونی کردن بذرها استفاده می‌شود. سپس بذرها به مدت ۱ دقیقه به وسیله آب روان شستشو می‌گردند.

۲-۲- بستر مورد استفاده در پتری دیش

معمولاً برای قرار دادن بذر در داخل پتری دیش از بسترهایی مانند آگار ۱٪، ماسهنرم (به ویژه برای بذرهای با اندازه بزرگ) و یا کاغذ صافی استفاده می‌شود(شکل ۱). آگار به دلیل اینکه شفاف بوده و بذرها به راحتی قابل دیدن می‌باشند، بستر بسیار مناسبی می‌باشند. همچنین آگار باعث نگهداری رطوبت خاک و با ترکیباتی مانند جیبرلیک اسید که در برخی مواقع برای رفع خواب بذر بکار می‌رود می‌تواند بهراحتی ترکیب شده و کیفیت آزمایش را بهبود دهد. بایستی در نظر داشت که آگار بیشتر برای بذور ریز استفاده می‌شود و قطر آن بایستی ۲ تا ۳ برابر قطر بذر باشد.در زیر مراحل تهیه ۱ لیتر آگار ۱٪ آمده است:

۱- ۱۰ گرم پودر آگار را وزن کرده و با اضافه کردن مقدار ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر سرد یک خمیر نرم از آن تهیه نمایید.

۲- مقدار ۹۰۰ میلی لیتر آب جوشیده به خمیر آگار اضافه نموده و به خوبی آنرا بهم بزنید.

۳- به آرامی محلول را گرم نموده و تا به جوش آمدن محلول آنرا بهم بزنید.

۴- قبل از ریختن آگار داخل پتری دیش‌ها اجازه بدهید دمای خمیر به ۵۰درجه سانتی‌گراد برسد.

معمولا برای هر پتری دیش با قطر ۹ سانتی متر مقدار ۳۰ میلی لیتر مایع آگار لازم است. بنابراین میزان یک لیتر آگار تقریبا برای پر کردن ۳۳ پتری دیش لازم می‌باشد.

به هرصورت اگر از بستری غیر از آگار استفاده شد بایستی مراقب بود که هم میزان آب اضافی در هر پتری دیش بکار برده نشود و هم اینکه بستر بذر در طول آزمایش خشک نگردد. در آزمایشات جوانه زنی با تیمارهای مختلف آب یا محلول‌های شور، به دلیل اینکه تبخیر آب باعث افزایش غلظت نمک و در نتیجه افزایش میزان شوری محلول بسیار بیشتر از آنچه مورد نظر بوده است، توصیه می گردد پس از اعمال تیمارهای مورد نظر درب پتری دیش‌ها را بسته و پتری دیش‌ها درون کیسه‌های پلاستیکی زیپ دار قرار داده شود. به هرصورت در آزمایشات جوانه زنی در شرایط شور هرچه دوره آزمایش کوتاه‌تر باشد، نتایج این آزمایشات از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. اگرچه در آزمایشات طولانی تر اضافه کردن محلول تازه هر چند روز یکبار به مقدار مساوی برای همه پتری دیش‌ها و یا بطورکلی تخلیه محلول‌های موجود در پتری دیش‌ها و استفاده از محلول‌های تازه پس از گذشت سه تا ۵ روز از آزمایش توصیه می‌گردد. طبق یک تجربه از آنجا که معمولاً جذب آب در تمام بذر گیاهان زراعی در همان ۱۲ تا ۲۴ ساعت اول قرار گرفتن در محلول‌های آبی اتفاق می‌افتد، پیشنهاد می‌گردد جهت افزایش دقت آزمایش دراین گونه مطالعات، حداکثر یک روز پس از شروع آزمایش، پتری دیش‌های آزمایش با پتری‌دیش‌های جدید حاوی محلول‌های تازه بسته به تیمار مورد نظر جایگزین شوند. این فرآیند لازم است در شرایط کاملا استریل انجام گرفته تا محیط کاشت آلوده نگردد.

شکل۱- بسترهای مورد استفاده در آزمایشات جوانه‌زنی، کاغذ صافی (چپ) و ماسه نرم (راست)

۲-۳- نور در آزمایشات جوانه‌زنی

معمولاً محیط‌های رشد مناسب برای آزمایشات جوانه زنی، دارای لامپ‌های فلورسنت سفید هستند که گرما ایجاد نمی‌کنند. در صورتیکه از لامپ‌های رشته‌ای در این محیط‌ها استفاده شود، باید از نوعی انتخاب گردند که تولید حرارت و نور قرمز دور ننمایند. طول مدت روز وشب بایستی با دوره حرارتی هم‌خوانی داشته و در دامنه‌ای از ۱۶/۸ یا ۱۲/۱۲ به ترتیب ساعت روز/شب تنظیم گردد.

۲-۴-دما و طول مدت آزمایش جوانه زنی

طول مدت جوانه‌زنی بسته به سرعت جوانه‌زنی بذر و تیمار بکار رفته متفاوت می‌باشد. این مقدار می‌تواند از حداکثر یک هفته تا چهار هفته متفاوت باشد (داویس و همکاران، ۲۰۱۵). اصولا خاتمه دوره جوانه‌زنی زمانی در نظر گرفته می‌شود که در همه تیمارها تعداد بذر جوانه زده شده در چند روز متوالی ثابت بماند. معمولا جوانه‌زنی در برخی بذرها از ۲۴ ساعت پس از تیمار کردن شروع می‌گردد. وقتی بذری جوانه‌زده محسوب می‌گردد که طول ریشه‌چه حداقل ۲ میلی‌متر باشد. اگرچه در بذرهای ریز گیاهان شورزیستی مانند سالیکورنیاو خرفه این مقدار می‌تواند کمتر در نظر گرفته شود. در جدول زیر دامنه دمایی مورد نیاز برای جوانه‌زنی و طول مدت آزمایشات جوانه‌زنی برخی گیاهان آورده شده است.

جدول ۱- دمای مورد نیاز و زمان شمارش بذرهای جوانه زده شده در روش استاندارد شده آزمون جوانه زنی (ISTA)

ردیف	نام گیاه	دمای مورد نیاز (درجه سلسیوس)	زمان شمارش (روز)	
			شمارش اولیه	شمارش نهایی
۱	آفتابگردان	۲۵-۲۰	۴	۱۰
۲	اسفناج	۱۵-۱۰	۷	۲۱
۳	اتریپلکس	۳۰-۲۰	۷	۲۸
۴	شبدر	۲۰	۴	۱۰
۵	پنبه	۲۵	۴	۱۲
۶	سورگوم	۲۵	۴	۱۰
۷	ذرت	۲۵	۴	۷
۸	جو	۲۰	۴	۷

۲-۵-محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی

درصد جوانه‌زنی به وسیله رابطه ساده زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$\text{Germination (\%)} = G / X * 100 \qquad (۲)$$

در این رابطه، G تعداد بذر جوانه‌زده در پایان آزمایش و X تعداد کل بذر استفاده شده می‌باشد. شاخص سرعت جوانه‌زنی[1] (درصد در روز) بر اساس معادله زیر محاسبه می‌گردد (کول‌بر[2]، ۱۹۸۰):

$$GRI = \sum \left(\frac{N_i}{i} \right) \qquad (۳)$$

در این معادله، N_i تعداد بذر سبز شده در روز i اممی‌باشد. در صورتیکه نحوه وارد کردن داده های بدست آمده از درصد جوانه‌زنی از شمارش روز ۱ تا ۹ به ترتیب از ستون D تا L بصورت زیر باشد:

[1]Germination rate Index (GRI)
[2]Coolbear

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	**1stGer**	**2ndGer**	**3rdGer**	**4thGer**	**5thGer**	**6thGer**	**7thGer**	**8thGer**	**9thGer**	**Ger.Rate**
2	30	80	85	85	85	85	85	85	85	56.66667

می‌توان در برنامه Excel و در ستون M از رابطه زیر، سرعت جوانه‌زنی را بدست آورید:

=(D2/1)+((E2-D2)/2)+((F2-E2)/3+((G2-F2)/4+((H2-G2)/5+((I2-H2)/6+(J2-I2)/7+((K2-J2)/8+((L2-K2)/9)))))) (۴)

همچنین تعداد روز موردنیاز تا جوانه‌زنی ۵۰٪ از بذرها (G_{50}) بر اساس رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

در این معادله n_i و n_j به ترتیب تعداد تجمعی بذر سبز شده بین دو روز t_i و t_j می‌باشد و N تعداد کل بذر سبز شده در پایان آزمایش می‌باشد.

۲-۶-تهیه محلول‌های شور با نمک‌های مختلف

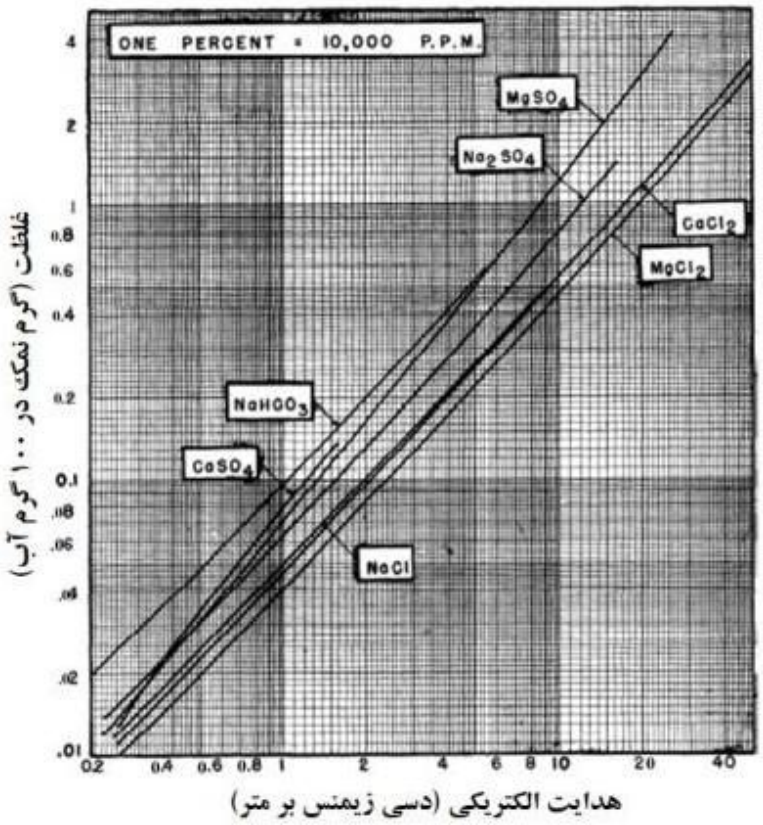
نکته دیگر در ارتباط با انجام آزمایشات جوانه‌زنی و یا هر آزمایش دیگر در شرایط شور تهیه تیمارهای مختلف آب شور با استفاده از نمک‌های مختلف می‌باشد. با توجه به اینکه هدایت الکتریکی حاصل از غلظت‌های مختلف برخی نمک-ها مشخص می‌باشد (شکل۲)، تهیه محلول‌های شور با استفاده از هرکدام از این نمک‌ها به تنهایی مشکل نخواهد بود. ضمن اینکه با توجه به رابطه بین غلظت کل جامدات محلول(TDS)[1] و میزان هدایت الکتریکی (EC)، تهیه تیمارهای مختلف شوری به راحتی میسر می‌باشد (آیرز و وسکات،۱۹۸۵):

$$EC(dS/m) = \frac{TDS\ (mg/l)}{a} \qquad (6)$$

در این رابطه مقدار تقریبی a به ویژه در شوری‌های کمتر از ۵ دسی‌زیمنس بر متر برابر ۶۴۰ در نظر گرفته می‌شود. مقدار ۶۴۰ به عنوان یک میانگین جهانی از آب‌های زیرزمینی می‌باشد و طبق تعریف ۱ دسی‌زیمنس بر متر تقریباً معادل

[1]- Total dissolved solids (TDS)

۶۴۰ میلی‌گرم در لیتر از مخلوط املاح مختلف است. البته دامنه این عدد می‌تواند بین ۵۳۰ (در صورتیکه NaCl نمک غالب باشد) تا ۸۰۰ و حتی ۹۰۰ (در صورتیکه املاح عمدتاً از یون‌های دو ظرفیتی تشکیل شده و یا شوری بیشتر از ۵ دسی‌زیمنس بر متر باشد) متغیر باشد (رنجبر و آناقلی، ۱۳۹۷؛ ریچاردز، ۱۹۵۴). با اینحال توصیه می‌گردد پس از توزین مقدار نمک محاسبه شده هدایت الکتریکی محلول با دستگاه‌های شوری سنج اندازه‌گیری شده تا از میزان شوری مورد نظر اطمینان حاصل گردد.



شکل۲- میزان هدایت الکتریکی نمک‌های مختلف متناسب با مقادیر متفاوت غلظت هر نمک (ریچاردز، ۱۹۵۴)

اما در برخی موارد محققین از ترکیب دو یا چند نمک مختلف برای تیمار شوری استفاده می‌کنند. متداول‌ترین این نمک‌ها NaCl و $CaCl_2$ می‌باشد. نسبت این املاح در آزمایشات مختلف بسته به نوع و هدف آزمایش، بسیار متفاوت است. رایج‌ترین آنها نسبت وزنی 2NaCl به 1CaCl2 در آزمایشات جوانه‌زنی و نسبت یونی $15Na^{+}$ به $1Ca^{2+}$ در آزمایشات هیدروپونیک می‌باشد (ماس و همکاران،۱۹۸۶؛ لاچلی و گراتان، مونش و جیمز،۲۰۰۳).

تهیه نسبت وزنی این نمک‌ها معمولاً بسیار راحت‌تر از نسبت یونی می‌باشد، چراکه با توزین میزان‌ها مختلف از نمک-های مورد نظر، می‌توان نسبتا به شوری مورد نظر تا حدودی دست یافت، و پس از کنترل شوری محلول تهیه شده با شوری‌سنج، به مقدار مناسب از نمک‌های مورد نظر استفاده نمود و یا با آب مقطر رقیق نمود. در روش وزنی اگرچه معمولا با توجه به نسبت مورد نیاز، نمک‌های مختلف توزین می‌گردد، ولی این روش معمولا دقیق نمی‌باشد. پیشنهاد می‌شود در تهیه چنین محلول‌هایی همیشه از روش یونی و یا روش میلی اکی‌والانی که دقیق‌تر است استفادهگردد . اساس کار در این روش رابطه زیر می‌باشد (رنجبر و آناقلی، ۱۳۹۷):

$$TSC, TSA=EC\times b \qquad (۷)$$

در این رابطه TSC و TSA به ترتیب غلظت کل کاتیون[۱] و آنیون‌های قابل حل)[۲] بر حسب مول بر لیتر می‌باشد و مقدار b معادل ۰/۱ می‌باشد. برای فهم بهتر این روش مثال ذکر شده در کتاب «مفاهیم تنش شوری و واکنش گیاه» (رنجبر و آناقلی، ۱۳۹۷) آورده شده است. فرض کنید تهیه یک لیتر محلول با شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر با استفاده از نسبت ۲ به ۱ به ترتیب از نمک NaCl و $CaCl_2$مورد نظر باشد. در این حالت با توجه به رابطه ۶ به چند گرم از این دو نمک نیاز است.

$EC\times10=5\times10=50$ meq L^{-1}

$2x\ (Na) + 1x\ (Ca)=3x$

$3x=50$

$x=16.7$ meq L^{-1}

$CaCl_2= (16.7\times55)/1000= 0.919$ g L^{-1}

$NaCl= (33.4\times58.45)/1000= 1.95$ g L^{-1}

۲-۷-تبدیل داده‌های درصد جوانه‌زنی

از آنجا که داده‌های آزمایشات جوانه‌زنی معمولا به صورت شمارش و یا درصد بدست می‌آیند، در بسیاری از موارد این داده‌ها دارای توزیع دوجمله‌ای بوده و نرمال نمی‌باشند، لذا نیاز به تبدیل داده‌ها ضرورت دارد. اصولاًبرای تبدیل داده‌های درصد جوانه‌زنی از تبدیل زاویه‌ای (ArcSin√x) استفاده می‌شود. در نرم افزار Excelپس از مرتب نمودن درصد جوانه‌زنی

[1]- Total soluble cation
[2]- Total soluble anion

در تیمارهای مختلف می‌توان از رابطه زیر برای تبدیل داده‌هااستفاده نمود:

=ASIN((x)^(1/2))*(180/(4*ATAN(1)))(۸)

مقدارx، در این رابطهاعداد درصد به صورت نسبت از ۱۰۰ می‌باشد (مثلاً ۸۵ درصد جوانه زنی بصورت ۰/۸۵ بکاربرده می‌شود).

۳- آزمایشات شوری در مراحل رشد رویشی و زایشی

۳-۱- آزمایشات هیدروپونیک

در این گونه آزمایشات محیط کشت مایع و معمولاً محلول غذایی می‌باشد. کنترل شوری در این محیط‌ها معمولاً ساده و به صورت روزانه می‌تواند با یک شوری سنج پورتابل کنترل گردد. آنچه بیشتر در این محیط‌ها تغییر داشته و نیاز به کنترل بیشتر می‌باشد، افزایش چشمگیر اسیدیته محلول غذایی به دلیل ماهیت ترکیباتی است که در تهیه آنها بکار برده می‌شود. لذا لازم است به منظور بهبود جذب مواد غذایی، میزان اسیدیته مرتب کنترل و با اسیدهای مرسوم مانند اسید کلریدریک در محدوده ۶-۷ تنظیم گردد (باب، ۱۹۹۵).

در آزمایشات هیدروپونیک تنها با مفهوم شوری محلول محیط کشت ارتباط دارد بنابراین گیاه بطور مستقیم به همین شوری واکنش نشان می‌دهد، اگرچه در واقعیت نیز گیاه به شوری محلول خاک در مزرعه واکنش نشان می‌دهد. آنچه مسلم است در آزمایشات مزرعه‌ای، به دلیل محدودیت در اندازه‌گیری شوری محلول خاک، شوری عصاره اشباع خاک به عنوان یک مفهوم بین‌المللی برای اندازه‌گیری شوری خاک و ارزیابی میزان تحمل به شوری گیاهان زراعی بکار برده می‌شود. با توجه به اینکه براساس تجربه و یک قانون نانوشته، شوری عصاره اشباع خاک تقریباً نصف شوری محلول خاک در حالت «ظرفیت مزرعه» می‌باشد (هانسون و همکاران، ۲۰۰۶)، بنابراین در این شرایط به منظور تقریب به ذهن کردن میزان شوری که گیاه به آن واکنش نشان میدهد، می‌توان شوری محول محیط کشت را در این آزمایشات معادل دو برابر شوری عصاره اشباع خاک در نظر گرفت. این امر به منظور ایجاد شرایط شور در این آزمایش‌ها و اطمینان از ایجاد میزان شوری که گیاه به آن واکنش نشان می‌دهد، بسیار اهمیت دارد. برای مثال در صورتی‌که آستانه تحمل به شوری یک گیاه زراعی در حدود ۶ دسی‌زیمنس بر متر شوری عصاره اشباع خاک باشد، کشت گیاه در شوری محلول غذایی معادل ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر تقریباً معادل آستانه تحمل به شوری گیاه می‌باشد. لذا برای اینکه گیاه بتواند شرایط شور را نیز تجربه کند لازم است میزان شوری محلول غذایی بین ۲۰٪ تا حداکثر ۵۰٪ بیشتر از این میزان در نظر گرفته شود. بنابراین در مثال فوق برای اینکه گیاه در شرایط شور قرار بگیرد لازم است شوری محلول غذایی بسته به شدت شوری مورد نظر بین ۱۴/۴ تا ۱۸ دسی‌زیمنس بر متر تنظیم گردد.

۳-۱-۱- تهیه محلول‌های غذائی

فرمول‌های غذایی متعددی برای انواع گیاهان در کشت هیدروپونیک وجود دارد که بیش از ۶۰ سال بر روی آنها تحقیق و مطالعه شده است.بعضی از این محلول‌ها برای گیاهانی خاصی ویابرایدورهخاصیازمراحلرشدرویشییازایشیطراحیشده‌اندولیبعضینیزبرایتمامگیاهاندرکشتهیدروپونیکمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در برخی آزمایشات نیز از نصف غلظت برای اوایل رشد استفاده می‌شود. هنگام استفاده از محلول‌هایی با فرمول عام باید توجه داشت که علی‌رغم رشد و نمو نسبتاً خوب گیاه در این محلول‌ها، ممکن است گیاهبهحداکثرعملکردوتولیدخود،مخصوصاًدرشرایطکشتتجاریرسد،امادرعینحالاستفاده از این فرمول‌ها می‌تواند بسیار مفید واقع شود. معروف‌ترین این محلول‌ها به ویژه در کشت‌های تحقیقاتی، محلول هوگلند می‌باشد (جدول ۲).لازم به ذکر است که، برای رشد بهینهگیاهاندرکشتهیدروپونیکبایدمقدار عناصر مختلف در یک دامنه مشخص حفظ شود که این کار نیاز به تجربه و آزمایش مرتب محلول غذایی دارد. در کشت هیدروپونیکاشتباهاترابهسختیمی‌توانجبرانکردزیرادراینروشهرعنصراثرخودرابهسرعتنمایانمی‌کند. بنابراینانتخابیاساختمحلولغذاییاحتیاجبه دقت بسیار بالایی دارد.

جدول ۲- غلظت عناصر مورد نیاز در محلول هوگلند

ترکیب	غلظت استوک محلول (گرم در لیتر)	حجم در محلول استوک در هر لیتر محلول نهایی (میلی‌لیتر)	عنصر	غلظت نهائی عنصر (پی پی ام)
مواد غذائی ماکرو			N	۲۲۴
$KN0_3$	۱۰۱/۱۰	۶/۰	K	۲۳۵
$Ca(N0_3)_2$-4H20	۲۳۶/۱۶	۴/۰	Ca	۱۶۰
$NH_4H_2P0_4$	۱۱۵/۰۸	۲/۰	P	۶۲
$MgS0_4$-$7H_20$	۲۴۶/۴۹	۱/۰	S	۳۲
			Mg	۲۴

مواد غذائی میکرو				
KCI	۱/۸۶۴	۲/۰	Cl	۱/۷۷
H_3B0_3	۰/۷۷۳	۲/۰	B	۰/۲۷
$MnS0_4$-H_20	۰/۱۶۹	۲/۰	Mn	۰/۱۱
$ZnS0_4$-7H20	۰/۲۸۸	۲/۰	Zn	۰/۱۳
$CuS0_4$-$5H_20$	۰/۰۶۲	۲/۰	Cu	۰/۰۳
H_2Mo0_4(85%$Mo0_3$)	۰/۰۴۰	۲/۰	Mo	۰/۰۵
NaFeDTPA(10%Fe)	۳۰/۰	۰/۳-۱/۰	Fe	۱/۰۰-۳/۰۰

در آزمایشات تنش شوری برای گندم بهتر است از ترکیب جدول (۳) در مراحل مختلف رشدی استفاده گردد.

جدول ۳- میزان عناصر غذایی مورد استفاده برای گندم در محلول غذائی در مراحل مختلف رشد (باب، ۱۹۹۵)

عناصر پرمصرف (میلی‌مولار)	محلول غذایی ابتدای رشد	محلول غذایی در مرحله رشد رویشی	محلول غذایی در مرحله پر شدن دانه
N	۳	۶	۳
P	۰/۵	۰/۵	۰/۵
K	۱/۵	۴/۵	۲/۵
Ca	۱	۱	۰/۵
Mg	۰/۵	۰/۳	۰/۳
S	۰/۵	۰/۳	۰/۳
عناصر کم مصرف (میکرو مولار)			
Fe	۱۰	۲/۵	۲/۵

Fe-HEDTA	۲	۵	۵
Mn	۳	۶	۳
B	۲	۱	۰/۲
Zn	۳	۱	۱
Cu	۳	۰/۳	۰/۲
Mo	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۳
Cl	۶	۱۲	۶

۳-۱-۲- کشت در محیط ماسه نرم (داخل باکس)

یکی از روش‌های کشت هیدروپونیک، کشت در بسترهای غیرخاکی می‌باشد. در این شرایط کشت در هر بستری به جز خاک انجام می‌گیرد. از مرسوم‌ترین این بسترها می‌توان به پرلایت و ماسه نرم اشاره نمود. بخاطر اینکه بسترهای مورد استفاده در این شرایط عاری از هر گونه مواد غذایی می‌باشد، لذا ضرورت دارد همانند شرایط هیدروپونیک از محلول غذایی استفاده نمود. بنابراین در این شرایط نیز کنترل شوری و اسیدیته محلول کاربردی پیش از هر آبیاری ضرورت دارد.

با توجه به اینکه در این شرایط بخاطر بستر کاشت، با بافتی بسیار سبک در این شرایط روبرو بوده، آبیاری باید به نحوی انجام گیرد که هم گیاه با تنش خشکی مواجه نگردد و هم کنترل شوری در محیط کاشت متناسب با شوری که مد نظر است انجام گیرد. بهمین خاطر در این شرایط توصیه شده است روزانه بین ۳ تا ۴ بار آبیاری انجام گرفته، به نحوی که گیاه با تنش خشکی مواجه نشده و میزان شوری محلول ورودی و خروجی از زهکش گلدان‌ها برابر باشد. بعبارت دیگر کنترل شوری در این شرایط بایستی به نحوی انجام پذیرد (شکل ۸) که میزان شوری ورودی و خروجی به سیستم برابر باشد (ماس و پاس، ۱۹۸۹). در این روش به دلیل وجود بافت بسیار سبک و آبشویی چندین مرتبه در طول روز معمولاً میزان شوری محلول محیط کشت با شوری آب آبیاری یکسان و تجمع نمک در محیط (بستر کشت) انجام نمی‌گیرد.

شکل۸- کنترل EC آب زهکش در کشت در محیط ماسه نرم برای اطمینان از یکنواختی شوری در محیط ریشه گیاه(رنجبر و همکاران،۱۳۸۴)

برای کشت در محیط ماسه نرم بایستی دقت کنید که ماسه‌ها کاملاً شسته شده باشند و عاری از هرگونه مـواد آلـی و معدنی باشند. برای پر کردن گلدان‌ها بهتر است در کف گلدان‌ها ۸ درصد ارتفاع گلدان پوکه صنعتی و ۸ درصـد از شـن درشت برای سهولت زهکشی استفاده شود و ۷۵ درصد بالای گلدان‌ها نیز بوسیلهٔ ماسه نرم پر گردد. مابقی ارتفاع گلـدان (بالای گلدان) خالی باشد تا آبیاری دچار مشکل نشود. در آزمایشاتی که گیاه کل فصل رشد را سپری مـی‌کنـد (و یـا در صورت نیاز)، از پشم شیشه به عنوان عایق حرارتی در اطراف گلدان اسـتفاده کنیـد(آنـاقلی و همکـاران، ۱۳۸۳؛ رنجبـر و همکاران، ؟؟).

در آزمایشات غربال منابع ژنتیکی که تعداد گلدان‌ها زیاد و مدت آزمایش کوتاه است، بهتر است گلدان‌های کوچـک را کنار هم مرتب کرده و یک دسته از آنها را درون یک مخزن بزرگ قرار دهند (شکل۴). آبیاری ایـن سیسـتم بصـورت پـر کردن مخازن با محلول غذائی شور یا غیرشور می‌باشد و گلدان‌ها که بوسیله شن یا کوارتز پر شده‌اند از طریق سوراخ‌هـای

ایجاد شده در زیر و اطراف گلدان تغذیه می‌شوند. در این سیستم با خاموش شدن پمپ، محلول غذائی دوباره به مخزن برمی‌گردد. می‌توان از یک تایمر برای آبیاری اتوماتیک (با فواصل منظم) در این سیستم استفاده کرد تا ریشه گیاه دچار کمبود اکسیژن نگردد. البته EC محلول غذائی بصورت روزانه و pH آن بصورت ۱ تا ۲ بار درهفته باید کنترل شود. برای کم کردن pH از اسید کلریدریک(HCl) استفاده کنید. برای سبز شدن و استقرار از آب معمولی استفاده کنید و سپس به مدت ۲ تا ۳ روز از نصف دز محلول غذائی استفاده کنید. شروع تنش شوری نیز پس از استقرار کامل (حداکثر ۱۰ روز پس از سبز شدن) انجام می‌شود ولی اینکار بتدریج و طی چند روز انجام شود تا به گیاه تنش ناگهانی وارد نشود(مونش و جیمز،۲۰۰۳).

شکل۴- غربال منابع ژنتیکی با استفاده از گلدان‌های کوچک در مخازن(سینی‌های) بزرگ در کشت هیدروپونیک (مونش و جیمز،۲۰۰۳)

۳-۱-۳- استفاده از لوله‌های پولیکا

علاوه بر کشت گیاهان ریشه عمیق در داخل لوله‌های پولیکا (شکل۳)، می‌توان از این وسیله به عنوان بستر و محیط مناسب برای آزمایشات گیاهچه‌ای استفاده کرد. ابتدا لوله‌هایی با طول یکسان (تقریباً ۲ متری) ایجاد کرده و دو طرف آنها را مهر و موم می‌گردد بگونه‌ای که با یک رابط پلاستیکی با هم ارتباط داشته باشند. سپس سوراخ‌های کوچک با فواصل مساوی بر روی آن ایجاد کرده و لوله‌ها مانند شکل (۵) در کنار هم قرارمی‌گیرد. با استفاده از یک پمپ می‌توان

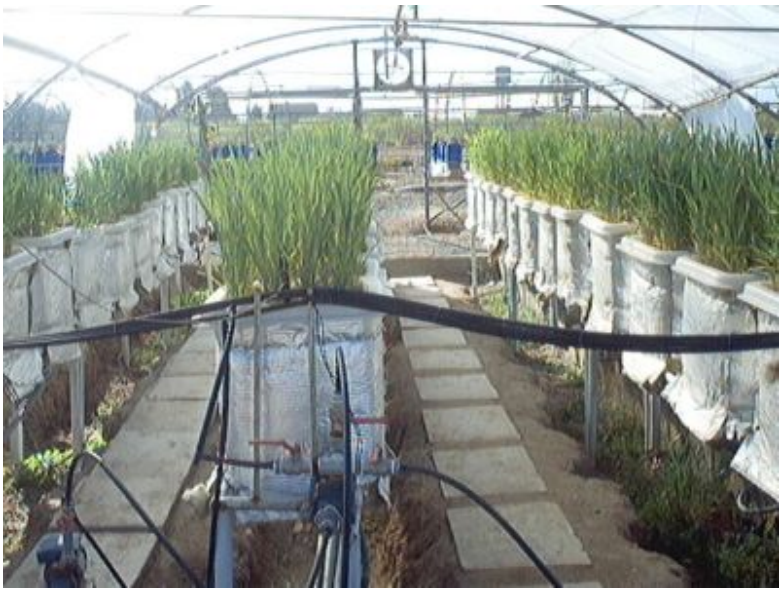
محلول غذائی(شور یا غیرشور) را درون لوله‌های پولیکا جریان داد. از اینگونه محیط‌های کشت برای آزمایشات غربال در مرحله گیاهچه‌ای و یا اندازه‌گیری سدیم/پتاسیم، پرولین و سایر موارد استفاده کرد (رنجبر، ۱۳۸۳).

شکل۵– استفاده از لوله پولیکا ۱۱۰ میلی‌متری جهت ارزیابی تحمل به شوری گندم در مرحله گیاهچه‌ای و در شرایط هیدروپونیک(رنجبر، ۱۳۸۳)

۳-۱-۴- روش بازچرخ محلول غذایی

برای چرخش محلول غذائی در سیستم هیدروپونیک و یا کشت در محیط ماسه نرم می‌توان با استفاده از یک پمپ آب اینکار را انجام داد. اما توجه داشته باشید هنگامیکه چند محلول غذائی با شوری‌های مختلف را بررسی می‌گردد، لازم است تا هر سطح شوری در یک منبع جداگانه جمع‌آوری شود. برای اینکار می‌توان به اندازه تعداد سطوح شوری از لوله‌های پلیکای نازک استفاده کرد بنحوی که در زیر زهکش هر گلدان یک زانوئی برای هر لوله پولیکا تعبیه نموده و خروجی زهکش گلدان‌ها نیز با یک شیلنگ کوتاه قابل انعطاف به لوله مورد نظر وصل شود (شکل۶ و ۷). با این سیستم می‌توان با تغییر سطح شوری هر گلدان در مراحل رشدی مختلف، محل جمع‌آوری زهکش را نیز براحتی عوض کرد(آناقلی و همکاران،۱۳۸۳).

شکل۶- در شکل سمت راست چگونگی تغییر شوری آب با استفاده از باز و بسته کردن شیرهای تعبیه شده نشان داده شده است. در شکل وسط سیستم زهکشی در انتهای گلدان نشان داده شده و در شکل سمت چپ چگونگی جمع شدن زه آبها به تفکیک شوری نشان داده شده است. (آناقلی و همکاران،۱۳۸۳).



شکل۷- نمای کلی از کشت در محیط ماسه نرم و تغذیه با محلول غذائی در ۵ سطح شوری آب آبیاری(رنجبر و همکاران،۱۳۸۴).

۳-۲- آزمایشات خاکی

مرسوم‌ترین نوع آزمایشات کشاورزی استفاده از خاک به عنوان بستر کشت می‌باشد که می‌تواند در گلدان، لایسیمتر و یا شرایط مزرعه انجام گیرد. با توجه به تقسیم‌بندی انجام شده بر اساس بستر کشت و نوع آزمایشات، در این قسمت آزمایشات خاکی به دو قسمت کشت گلدانی و مزرعه‌ای تقسیم‌بندی شده است.

۳-۲-۱-کشت گلدانی با بستر خاک

آزمایشات گلدانی از رایج‌ترین آزمایشات در تحقیقات گیاهی به منظور حذف اثرات حاشیه‌ای خاک و اقلیم می‌باشد. این آزمایشات می‌تواند با استفاده از گلدان در اندازه‌های مختلف (گلدان، لایسیمتر و استوانه شیشه‌ای) در شرایط کنترل شده و یا در هوای آزاد انجام گیرد.

باید در نظر داشت که شرایط مطلوب رشدی (مثل شرایط شاهد) با شرایط تنش (تیمارهای تنش) تفاوت دارد. به عبارت دیگر در شرایط تنش یک تغییر کوچک در محیط رشد ممکن است باعث ایجاد تغییرات زیادی در میزان رشد گیاه گردد در حالیکه در شرایط مطلوب (شاهد) ممکن است به نظر نیاید. به عنوان مثال در یک گونه یا رقم متحمل به شوری افزودن جزء آبشویی و یا استفاده از آب غیرشور بصورت اشتباهی و یا عمدی باعث می‌شود تا قسمت‌هایی از خاک گلدان دارای شوری کمتری شود و گیاه می‌تواند آب را از مناطق کم شورتر براحتی جذب کرده و میزان رشدش بیشتر شود در صورتیکه این میزان از رشد در گلدان‌هایی که تیمار واقعی را دریافت کنند دیده نمی‌شود. در شرایط شاهد دادن آب بیشتر یا افزودن جزء آبشویی بدلیل اینکه تغییری در شوری واقعی خاک نمی‌دهد و آب اضافی بدون تغییر دادن شوری خاک گلدان از انتهای زهکش خارج می‌شود، بنابراین تغییر غیرمعمولی در میزان و سرعت رشد ایجاد نخواهد شد و چون سرعت رشد در تیمار تنش نسبت به شاهد سنجیده می‌شود، خطا در روش اعمال تیمار رخ داده است. بنابراین در آزمایشات گلدانی تحت شرایط تنش، واریانس خطای بیشتری دیده می‌شود. برای جلوگیری از این اشتباهات به غیر از دقت در اعمال تیمارها در طول دوره آزمایش لازم است برخی نکات کلیدی را در اینگونه آزمایشات رعایت کنیم که در زیر به مهمترین آنها اشاره شده است:

۳-۲-۱-۱- اندازه گلدان

اندازه گلدان در آزمایشات گلدانی بخصوص در شرایط تنش(بخصوص تنش اسمزی و رطوبتی) از اهمیت بالائی برخوردار است. بطور مسلم مصرف آب در گلدان به اندازه گیاه و مساحت برگ بستگی دارد بطوریکه گیاهان بزرگتر با سطح برگ بیشتر، آب بیشتری نسبت به گیاهان کوچکتر با سطح برگ کمتر مصرف می‌کنند. بنابراین وقتی محتوی آب گلدان محدود گردد، گیاه بزرگتر در یک گلدان علائم تنش را زودتر از گیاه کوچکتر در گلدان دیگر نشان خواهد داد. لذا این علائم مشاهده شده که بدلیل مصرف سریعتر و بیشتر آب در بوته بزرگتر است با اندازه گلدان اثر متقابل خواهد داشت. حال یک بیولوژیست را در نظر بگیرید که می‌خواهد اثر یک ژن را در یک گیاه تغییر یافته ژنتیکی در مقابل گونه وحشی آن مورد ارزیابی قرار دهد. در اغلب موارد گیاه تغییر یافته ژنتیکی علاوه بر اثرات ویژه ژن تغییر یافته، از نظر اندازه گیاه و یا مساحت برگ دارای تغییراتی است. حال سوال اینجاست که در صورت نامناسب بودن اندازه گلدان(کوچکتر بودن) چه دلیل موجهی برای اختلاف سطح برگ دو ژنوتیپ در شرایط تنش وجود دارد؟ بعضی اوقات ممکن است شما توضیحاتی در مقالات در خصوص رشد بیشتر یکی از گلدان‌های مورد آزمایش (تغییر یافته ژنتیکی و گونه وحشی نسبت به هم) پیدا کنید با این فرض که هر دو در شرایط آب و خاک یکسان قرار دارند هرچند سرعت تعرق در ژنوتیپ‌ها متفاوت است. بایستی خاطر نشان کرد که حتی در شرایط یکسان رطوبت خاک در گلدان معمولی، بوته بزرگ‌تر دارای وضعیت آب برگ کمتری است زیرا تقاضای آن برای آب بیشتر است (در هر وضعیت آب خاک). بنابراین شما نمی‌توانید وضعیت آبی گیاهی یکسان را در دو گیاه مختلف پیدا کنید هرچند آنها از لحاظ وضعیت آب خاک یکسان باشند، چراکه سطح برگ متفاوتی دارند. ضمن اینکه با بزرگتر بودن گلدان ممکن بود، گیاه سطح برگ بیشتری تولید می‌کرد و اندازه گلدان محدودیت ایجاد کرده باشد.مثال دیگری که در خصوص اهمیت اندازه گلدان می‌توان به آن اشاره کرد آزمایشات مربوط به تغییر در تاریخ کاشت در حداقل دو ژنوتیپ متفاوت است. بطور حتم در اینگونه آزمایشات، بوته‌هایی می‌توان یافت که دارای اندازه متفاوت در هر دو ژنوتیپ هستند. حال اگر در این‌گونه آزمایشات اندازه گلدان کوچک و نامناسب باشد چه اتفاقی خواهد افتاد؟ با توجه به اینکه بوته‌های بزرگتر مصرف آب بیشتری دارند، در تیمارهای آزمایشی تحت تنش خشکی و یا اسمزی، گلدان‌های با بوته‌های بزرگتر نسبت به گلدان‌هایی که حاوی بوته‌های کوچکتر هستند، بیشتر در معرض تنش قرار خواهند گرفت.

اغلب در فضاهای آزمایشی با محدودیت فضا مثل اتاقک رشد، محقق بایستی از گلدان‌های کوچک استفاده کند تا بتواند گلدان و بوته‌های بیشتری را در اتاقک رشد جای دهد. روش مرسوم منطقی این است که اگر مواد غذائی و آب را بطور روزانه بکار ببریم، فضای ریشه ایجاد محدودیت نخواهد کرد. اگرچه نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که فضای کم ریشه در گلدان‌های کوچک می‌تواند اثرات منفی بر رشد گیاه داشته باشد. این اثر منفی، می‌تواند اساس اثرات منفی شناخته شده خاک سخت و لایه سخت روی خاک بر رشد گیاه باشد حتی در صورتیکه با آب و مواد غذایی کافی فراهم شده باشد. مطمئناً برخی خواهند گفت که تمام گیاهان آزمایش، در گلدان‌های شبیه هم و کوچک قرار گرفته‌اند. اما ممکن است تیمار یا ژنوتیپی وجود داشته باشد که با این محدودیت‌ها(مثل بوته‌هایی که دارای سایزهای مختلف ریشه هستند) اثر متقابل داشته باشد و در نتیجه نتایج متفاوتی حاصل گردد. برای مثال رده بندی ژنوتیپ‌های جو برای واکنش به کمبود منگنز که با تغییر سایز گلدان، تغییر می‌کرد. بنابراین زمانی که محدودیت‌های ریشه در یک حجم گلدان محدود می‌تواند باعث مخاطرات جدی در نتایج یک آزمایش گردد، استفاده از گلدان‌های با حجم بیشتر اجتناب ناپذیر است. در آزمایشاتی که رشد ریشه بطور آزاد مهم است، استفاده از لوله‌های PVC دراز مناسب‌تر است(شکل ۳).

شکل ۳- استفاده از لوله‌های PVC در آزمایشات تنش شوری برای گیاهان با ریشه عمیق.

پورتر و همکاران(۲۰۱۲) در بررسی‌های خود بر روی ۶۵ تحقیق انجام شده دریافتند که دو برابر کردن اندازه گلدان باعث افزایش ۴۳ درصدی در بیوماس می‌گردد. در بیشتر موارد کاهش رشد در گلدان‌های کوچک ناشی از کاهش فتوسنتز خالص در گلدان‌های کوچک است. بررسی‌های بیشتر نشان داد که کوچکتر شدن گلدان بیشتر از طریق کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ باعث کم شدن رشد می‌گردد تا تغییر در مورفولوژی برگ یا تخصیص در بیوماس (پورتر و همکاران،۲۰۱۲) . نسبت بیوماس گیاه به حجم گلدان (بر حسب گرم بر لیتر) در صورتیکه زیاد باشد نه تنها رشد گیاه کاهش می‌یابد بلکه اختلاف نسبی بین تیمارها را نیز ممکن است تحت تاثیر قرار داده و خطای آزمایش بیشتر گردد. بنابراین بسیار مهم است که محققین در انتخاب اندازه گلدان دقت زیادی به عمل آورند و بر اساس اندازه نهایی گیاه گلدان‌های خود را انتخاب نمایند. بر اساس تجزیه و تحلیل‌های به عمل آمده، مناسب‌ترین سایز گلدان باید به گونه‌ای باشد که نسبت بیوماس گیاه به حجم گلدان بزرگتر از ۲ گرم در لیتر و یا حداقل بزرگتر از ۱ باشد. در ارزیابی نتایج این بررسی مشخص گردید که تقریباً در ۶۵ درصد آزمایشات، بیوماس گیاه از این مقدار آستانه عبور کرده بود. بنابراین محققین در اندازه گلدان دقت زیادی بخرج دهند تا نتایج مطمئن و قابل قبولی ارائه نمایند.

فاکتور مهم دیگری که در آزمایشات شوری به اندازه گلدان ارتباط پیدا می‌کند توزیع شوری در پروفیل گلدان است. هنگام استفاده از آب شور، توزیع شوری در پروفیل گلدان بسیار حائز اهمیت است و باید به گونه‌ای باشد که به شرایط واقعی در مزرعه نزدیک‌تر باشد. از طرف دیگر الگوی جذب آب نیز در شرایط شور در گیاهان مختلف متفاوت است و ممکن است برخی از آنها آب بیشتری را از مناطق کم شورتر پروفیل خاک/گلدان جذب کنند. بنابراین در گلدان‌های کم عمق، واکنش گیاه نسبت به گلدان‌های عمیق‌تر متفاوت خواهد بود. در بسیاری از آزمایشات گلدانی دیده می‌شود که محقق یا دانشجو پس از اعمال چند بار آبیاری با آب شور، از آب غیر شور برای آبشویی و شستن املاح مازاد استفاده می‌کند. اینکار باعث می‌شود تا مجدداً توزیع شوری در خاک گلدان بهم خورده و مناطق بالایی گلدان شوری کمتری خواهند داشت و بالطبع گیاه به راحتی از این مناطق آب جذب خواهد کرد. بهترین روش برای یکنواختی نسبی شوری در پروفیل گلدان این است که آب شور(تیمار شوری) با در نظر گرفتن جزء آبشوئی داده شود تا از تجمع نمک در گلدان جلوگیری شود. در گلدان‌هایی که بستر کشت شن است و از محلول غذایی (با شوری معین) برای آبیاری و اعمال تیمار

شوری استفاده می‌شود بهترین روش اینست که آبیاری با استفاده استفاده از محلول غذایی آنقدر ادامه یابد تا EC ورودی به گلدان با EC خروجی برابر گردد. در اینصورت مطمئن می‌شویم که در کل پروفیل گلدان شوری یکنواخت است. در این روش بخاطر اینکه ظرفیت نگهداری آب توسط شن مشخص است هیچگونه آب اضافی در گلدان باقی نمی‌ماند و بخاطر استفاده از محلول غذایی، آبشویی نیترات و مواد غذایی دیگر را نخواهیم داشت.

۳-۲-۱-۲- تفاوت داشتن رنگ گلدان

هماهنگی در رنگ گلدان‌ها بسته به شرایط آزمایش می‌تواند متفاوت باشد. در صورتیکه گلدان‌ها بصورت فشرده در داخل اتاقک رشد جانمایی شده باشند، عدم یکنواختی در رنگ گلدان مساله با اهمیتی نخواهد بود. اما در یک گلخانه که در معرض نور آفتاب قرار دارد، رنگ گلدان بسیار مهم می‌باشد. چراکه وقتی گلدان‌ها به مدت چندین ساعت در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند، گلدان‌های تیره در معرض دمای بیشتری نسبت به گلدان‌های روشن می‌باشند. در اینحالت در صورت عدم امکان تهیه گلدان با رنگ مشابه، بهترین راه رنگ کردن گلدان‌ها می‌باشد.

۳-۲-۱-۳- محیط رشد

محیط‌های مختلف رشد مثل خاک و انواع مخلوط‌های مختلف اختصاصی و یا تجاری وجود دارند که به عنوان محیط رشد ریشه در گلدان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده و یا عدم استفاده از یک محیط رشد بستگی زیادی به هدف آزمایش دارد. به عنوان مثال اگر محققی بخواهد خصوصیات ریشه را ارزیابی کند و با شستشوی محیط رشد، ریشه را استخراج کند، مخلوطی مانند کود گیاهی و مواد آلی دیگر، با چسبیدن به ریشه باعث بروز مشکل هنگام شستشو می‌گردند. مخلوط‌های تجاری که برای پر کردن گلدان بکار می‌رود از دانه‌های درشت تشکیل شده‌اند تا نفوذ هوا و زهکشی مناسبی داشته باشند. این امر همچنین احتمال آب ماندگی را نیز کاهش می‌دهد اما از طرف دیگر این مخلوط‌های گلدان، دارای خصوصیاتی متفاوت از خاک از جمله ظرفیت نگهداری و آزاد سازی آب هستند. در روابط آبی گیاه و در آزمایشاتتنشخشکی، اسمزی و شوری، بهتر است از یک محیط رشدی که به لحاظ روابط و خصوصیات نگهداری آب مشابه خاک باشد، استفاده گردد. بخصوص در آزمایشات شوری که رفتار املاح در خاک از لحاظ حرکت املاح و تغییراتی که بصورت فیزیکی(مثل ایجاد سله) و شیمیائی(مثل فعل و انفعالات شیمیایی با ترکیبات خاک و موجودات زنده خاک) رخ می‌دهد، تیمارهای آزمایشی را تحت تاثیر قرار خواهد داد. اگر ارتفاع گلدان بیشتر از ۴۰

سانتی‌متر باشد، احتمال آب گرفتگی در گلدان‌هایی که با خاک پر شده‌اند کاهش خواهد یافت. از طرف دیگر از پر کـردن گلدان با خاکی که دارای رس بالائی است، خودداری شود چراکه باعث سله بسـتن خـاک شـده و مشـکلات جـدی بـرای ریشه ایجاد می‌گردد.

تغذیه گیاهی نیز یک فاکتور بسیار مهم می‌باشد و لذا انتخاب محلول غذایی در آزمایشات گلدانی بسته بـه تیمارهـای آزمایشی بایستی به دقت انتخاب گردد. برای آزمایشات ویژه که با هدف خاصی طراحی شده‌اند، نمی‌توان از محلـول‌هـای تغذیه‌ای تجاری استفاده کرد. به عنوان مثال آزمایشی با هدف بررسی کمبود عناصر و یا سـمیت یـک عنصـر(یـا مـاده) خاص، نیازمند تهیه یک محلول غذایی ویژه متناسب با تیمارهای آزمایشی و هدف آزمایش است.

بطورکلی محیط رشد مورد استفاده در آزمایشات، بایستی مطلقاً عـاری از هرگونـه عوامـل بیمـاری‌زای گیـاهی مثـل بیماری‌های ریشه و یا نماتدها باشد. استریل کردن محیط رشد یک اقدام احتیـاطی اسـتاندارد اسـت و در جائیکـه لـوازم استریل برای محیط ریشه وجود ندارد قرار دادن در معرض آفتاب می‌تواند یک روش مناسب و موثر باشد.

برای پر کردن گلدان‌ها نیز از یک روش استاندارد برای همه گلدان‌ها بایستی استفاده کرد. نکته مهم در اینجا پر کردن گلدان‌ها با خاک (یا مخلوط مورد نظر) بر اساس استاندارد و چگالی یکسان برای تمام گلدان‌ها می‌باشد. این نکته را باید در نظر داشت که مخلوط‌های سنگین‌تر دارای خاک بیشتری هستند و مخلوط‌هائی که دارای مواد آلی بیشتری هستند، سبک‌تر هستند که در اینحالت پف کرده می‌شوند. علاوه براین چگالی مخلوط باید به اندازه‌ای باشد که از تشکیل حباب‌های هوا بخصوص در دیواره گلدان جلوگیری به عمل آید. این موضوع باعث می‌شود که رشد ریشه در مسیری از گلدان پیش برود که مقاومت کمتری دارد (چگالی کمتری دارد). بسیار دیده شده که ریشه‌ها در کنار دیواره گلدان به رشد خود ادامه می‌دهند که این امر منجر به اثرات تصنعی آزمایش و در نتیجه خطای بیشتر در آزمایش می‌گردد. علاوه براین در آزمایشات کم آبی، زمانیکه مخلوط (محیط رشد) خشک می‌گردد، چروکیدگی از طرف دیواره‌ها به سمت مرکز گلدان شروع خواهد شد و در نتیجه ریشه‌های اینگونه گلدان‌ها در معرض هوا قرار می‌گیرند. مخلوط‌های متراکم (ولی نه رسی) و ایجاد چگالی بیشتر در گلدان، می‌تواند این مشکل را حل کند.

ساده‌ترین راه برای استاندارد کردن تراکم و چگالی خاک در گلدان، اینست که مراقبت شود تا مخلوط ایجاد شـده تـا حد امکان یکنواخت و همگن تهیه شود و سپس بر اساس یک روش استاندارد و یکسان بـرای تمـام گلـدان‌هـا، پـر شـود.

حذف حباب‌های هوا در اطراف گلدان را نباید با فشار دادن گلدان (بوسیله انگشت‌های دست) انجام داد بلکه بوسیله کوبیدن گلدان به زمین و به روش استاندارد صورت گیرد تا مخلوط بطور کامل در گلدان مستقر گردد. نکته مهم دیگر، پر کردن گلدان بر اساس وزن مشخص از مخلوط می‌باشد که در تمام گلدان‌ها باید به یک نسبت رعایت گردد.

۳-۲-۱-۴- روش پرکردن ستون‌های دست خورده خاک (هاشمی‌نژاد و غلامی، ۱۳۸۷)

در آزمایشات گلدانی و لایسیمتری تنش شوری که حرکت آب و املاح در ستون خاک بسیار مهم است، فرض بر این است که ستون‌های خاک پر شده هم در عرض و هم در عمق دارای یکنواختی بالائی هستند ضمن اینکه این یکنواختی در تمامی لایسیمترهای یک آزمایش نیز باید وجود داشته باشد. برای اینکار ابتدا لوله‌های پلیکا را با طول معین(مثلاً۱۵۰ سانتی‌متری) برش می‌زنند. قطر تمام لایسیمترها بایستی یکسان باشد و از یک جنس تهیه شده باشند. در انتهای خروجی لایسیمترها از یک توری به اندازه منافذ حداکثر ۰/۵ سانتی‌متری استفاده می‌شود. به منظور زهکشی مناسب، کف لوله‌ها به ارتفاع ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر بوسیله شن شسته شده نخودی پر می‌گردد. در آزمایشات شوری برای پر کردن لوله‌های پلیکا(لایسیمترها) بهتر است از یک خاک با بافت لومی یا لومی شنی استفاده گردد. این خاک ابتدا بایستی بوسیله غربال با منافذ حداکثر ۱ سانتی‌متری الک شود و در صورت کمبود مواد آلی با کود دامی پوسیده مخلوط و کاملاً یکنواخت شود. بهتر است پر کردن لایسیمترها در رطوبت وزنی ۱۲ درصد و جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و بصورت تدریجی و ۱۰ سانتی‌متر به ۱۰ سانتی‌متر صورت بگیرد. بنابراین لازم است تا برای هر لایه، وزن مورد نیاز از خاک مورد نظر توزین گردد. محاسبات مورد نیاز برای پر کردن یک لایه ۱۰ سانتی‌متری با شعاع لوله پلیکا ۱۹/۷۵ سانتی‌متر از یک خاک با رطوبت وزنی ۱۲ درصد و جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب در زیر آمده است:

$$V_T = \pi r^2 h = \pi \times 19.75^2 \times 10 = ۳۸۴۵۸$$

وزن خاک خشک مورد نیاز(گرم):

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_T} \Rightarrow 1.35 = \frac{m_s}{38458} \Rightarrow m_s = 51919$$

وزن خاک مرطوب مورد نیاز (گرم):

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s} \Rightarrow 0.12 = \frac{m_w}{51919} \Rightarrow m_w = 6230$$

$$m_{s+w} = m_s + m_w = 58149$$

پس از توزین و ریختن خاک هر لایه به داخل لایسیمتر، توسط یک کوبه به خاک ضربات منظم وارد می‌شود تا خاک فقط به اندازه ۱۰ سانتی‌متر نسبت به ارتفاع قبلی بالا بیاید. برای جلوگیری از اثرات حاشیه‌ای در کناره لایسیمتر، کناره‌های ستون خاک با یک وسیله نوک تیز باید کاملاً پر گردد. در ضمن قبل از ریختن لایه بعدی، بوسیله همین وسیله نوک تیز خراش‌هایی در سطح ایجاد می‌گردد تا تماس لایه بعدی با آن محکم شده و یکنواختی بیشتر شود. پس از پر شدن یک لایسیمتر، برای جلوگیری از تبخیر سطحی تا پر شدن تمامی ستون‌ها، سطح بالای لایسیمترها را با پلاستیک کاملاً عایق می‌کنند.

با توجه به اینکه نمونه گیری از ستون‌های خاک جهت اطمینان از یکنواختی پرشدن ستون‌ها باعث تخریب ساختمان ستون خاک می‌گردد لذا می‌توان از معیارهای دیگری مثل اندازه‌گیری افت سطح خاک پس از آبیاری، اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری آب در نقطه ظرفیت زراعی(FC) و شیب منحنی‌های رخنه استفاده کرد. برای این منظور مقدار معینی آب(مثلاً ۱۴ لیتر) برای هر ستون خاک آبیاری انجام می‌گیرد و افت سطح خاک در هر لایسیمتر اندازه‌گیری می‌گردد. در صورت عدم خروج زهکش از انتهای لایسیمترها، مجدداً (پس از ۲۴ ساعت) مقدار معینی آب به همه لایسیمترها اضافه می‌گردد و حجم آب زهکش در هر ستون خاک به دقت اندازه‌گیری می‌گردد. پس از ۴۸ ساعت بعد از آبیاری دوم، می‌توان مقدار آب باقیمانده در خاک را به عنوان FC در نظر گرفت (با ایجاد موازنه جرمی آب و با معلوم بودن اجزای آن و صفر فرض کردن جزء تبخیر) که در صورت کمتر بودن انحراف مقادیر محاسبه شده برای نقطه FC از میانگین کل، می‌توان مطمئن شد که ستون‌های خاک در تمامی لایسیمترها بطور یکنواخت پر شده است. افت سطح خاک تقریباً یکسان در لایسیمترها نیز می‌تواند دلیل دیگری برای این موضوع باشد. بایستی دقت کرد که پس از آبیاری سطح

لایسیمترها با پلاستیک محکم بسته گردند تا تبخیر از سطح به حداقل برسد تا محاسبه رطوبت باقیمانده در نقطه FC دقیق‌تر گردد. در این روش بطور تقریبی و با اندازه‌گیری شوری زهکش و زمان خروج زهکش، می‌توان منحنی رخنه شوری زهکش در مقابل تعداد حجم منفذ زهکش خارج شده را رسم کرد. باید در نظر داشت که در این روش تبخیر از سطح حداقل است و آبیاری بطور روزانه انجام می‌گردد و لذا بدون در نظر گرفتن جریان اشباع ماندگار می‌توان منحنی‌های بدست آمده را منحنی رخنه خاک مورد نظر دانست در صورت مشابهت منحنی‌های رخنه هر لایسیمتر، می‌توان مطمئن شد که پر شدن لایسیمترها یکنواخت بوده است.

۳-۲-۱-۵- جانمائی گلدان‌ها برای آزمایش گلخانه‌ای

در داخل گلخانه توجه به زاویه نفوذ نور، جهت باد و توزیع دما به منظور جانمایی گلدان‌ها بسیار اهمیت دارد. ممکن است یک ساختمان بلند به قسمتی از گلخانه در صبح یا عصر سایه‌اندازی کند. در داخل گلخانه سیستم خنک کننده باید تنظیم باشد تا گلدان‌های نزدیک‌تر و دورتر از سیستم خنک کننده اختلاف دمای محیط نداشته باشند و یا حداقل (بی‌تاثیر) باشد. همچنین به عنوان یک اصل کلی گلدان‌ها، نزدیک درب ورود و خروج قرار داده نشوند. حتی در مجهزترین گلخانه‌ها نیز دمای داخل گلخانه از طرف دیواره به مرکز تغییر می‌کند. بنابراین لازم است ابتدا جهت شیب دما را در گلخانه پیدا کرده و سپس تکرارهای آزمایش را عمود بر جهت شیب مرتب کرد. با این‌حال توصیه می‌گردد برخی مواقع از یک ابتکار خلاقانه مثل استفاده از شیب تغییرات دمائی به عنوان تیمار آزمایشی برای بی اثر کردن شیب تغییرات محیط گلخانه استفاده گردد. استفاده از تونل‌های پلاستیکی سوراخ‌دار نیز می‌تواند موثر واقع شود. بهرصورت برای انجام دقیق آزمایش، جابجایی روزانه گلدان‌ها در داخل گلخانه با هدف یکسان نمودن شرایط محیطی برای همه گلدان‌ها توصیه می‌گردد.

۳-۲-۱-۶- کنترل شوری در شرایط بدون زهکشی گلدان‌ها

یکی از اصول اولیه در آزمایشات گلدانی در شرایط شور، کنترل شوری در محیط گلدان با هدف اطلاع از میزان شوری است که گیاه در طول دوره رشد در گلدان با آن مواجه است. اگرچه کنترل شوری در محیط گلدان به عوامل مختلفی

بستگی دارد، ولی نوع آزمایش گلدانی (کشت هیدروپونیک، کشت درون هر بستری به جز خاک[1] و کشت درون خـاک) و اطلاع از مفاهیمی مانند شوری آب آبیاری[2]، شوری محلول خاک[3] و شوری عصاره اشباع خاک[4] و روابط بین آنهـا در ایـن مقوله اهمیت بیشتری دارد. کنترل دقیق شرایط آزمایش و شوری محیط کاشتمی‌تواند تا حد زیادی خطاهـای آزمایشـی موجود در شرایط مزرعه را کاهش دهد. ولی نظر به اینکه محیط‌های کشت کنترل شده تفاوت‌هـای عمـده‌ای بـا محـیط رشد گیاه در مزرعه دارند، اغلبنتایج حاصله در این محـیط‌ها،قابـل توصـیه در مزرعـه نبـوده و بیشـتر مؤیـد پتانسـیل و توانائی‌های ژنتیکی گیاه می‌باشد(پنتا و همکاران، ۲۰۱۴).

آنچه مسلم است مشکل‌ترین روش کنترل شوری خاک در آزمایشات گلدانی با بستر خاک می‌باشـد. بنـابراین در ایـن شرایط لازم است راهکارهایی مد نظر قرار گیرد تا ضمن اینکه مطمئن بود گیاه با شوری مـورد نظـر مواجـه مـی‌باشـد از تجمع نمک در این شرایط ممانعت بعمل آید. بطورکلی در ارتباط با آزمایشات گلدانی با بستر خاک به منظور کنترل بهتر شوری دو روش در تحقیقات کشاورزی بکار برده می‌شود. هر کدام از این روش‌ها معایب و محاسن خود را دارد که در زیر به تفصیل به آنها اشاره شده است:

در شرایط بدون زهکشی در گلدان‌ها، با توجه به تیمار شوری مـورد نظـر و میـزان شـوری اولیـه خـاک، نمـک مـورد استفاده با توجه به رابطه شماره(۶) وزن شده و در زمان اعمال تیمار شوری در یـک یـا سـه مرحلـه بـه صـورت محلـول استفاده می‌گردد. آبیاری‌های بعدی با آب غیر شور انجام خواهد شد. نکته مهم در این روش این است که به دلیـل اینکـه در این روش کل نمک مورد نیاز جهت ایجاد تیمار مورد نظر در ابتدا به خاک اضافه شده است، بنـابراین لازم اسـت کـف گلدان‌ها فاقد منافذ بوده و میزان آب مصرفی در هر بار آبیاری به اندازه ظرفیت مزرعه انجام شود تا خفگـی ریشـه اتفـاق نیفتد. مزیت اصلی این روش سادگی کاربرد آن می‌باشد. ولی با توجه به اینکه در هر بار آبیـاری بـا آب غیـر شـور نمـک شسته شده و در لایه‌های پایینی خاک قرار می‌گیرد و اینکه ریشه گیاه معمولاً آب را از لایه‌ای جذب می‌نماید که میـزان شوری آن حداقل می‌باشد (ریچارد،۱۹۵۴)، بنابراین به ویژه زمانی‌که اندازه گلدان‌ها و ارتفاع آنها نسـبتا زیـاد باشـد، ایـن روش کارآیی لازم را ندارد چراکه آب توسط گیاه حداقل در کوتاه مدت در لایه‌ای از خاک گلدان جذب خواهـد شـد کـه

[1]Soilless culture
[2]Irrigation Water Salinity
[3]Soil Solution Salinity
[4] Salinity of Soil Saturated Extract

ممکن است بسیار کمتر از تیمار شوری مورد نظر باشد و به نتایج غیر واقعی منجر گردد.

۳-۲-۱-۷- کنترل شوری در شرایط وجود زهکش در گلدان‌ها

با توجه به محدودیت موجود در روش قبل، در این روش کف گلدان‌ها دارای منافذ زهکشی بوده و در هر بار آبیاری از تیمار آب شور مورد نظر استفاده می‌گردد. با توجه به اینکه ماهیت آزمایشات گلدانی و اینکه خروج آب از کف گلدان به دلیل ویژگی چسبندگی آب و فشار اتمسفر بسیار کمتر از نفوذ آب در خاک در شرایط مزرعه می‌باشد، در این آزمایشات توصیه می‌گردد جهت ممانعت از تجمع نمک در گلدان، از یک خاک با بافت سبک استفاده گردد.

اما آنچه در این شرایط اهمیت دارد کنترل شوری در محیط ریشه و اطلاع از میزان شوری است که گیاه در خاک گلدان با آن مواجه می‌باشد. با توجه به محدودیت نمونه‌گیری از خاک گلدان در مقایسه با خاک مزرعه، روش‌های دیگری جهت اطلاع از میزان شوری عصاره اشباع خاک در گلدان تحت تیمار آب شور وجود دارد. تهیه عصاره محلول خاک با استفاده از روش‌های رقیق سازی ۱:۱، ۱:۲ و یا ۱:۱۰ نسبت «آب مقطر: خاک» یکی از این روش‌هاست. البته در این ارتباط برخی مشکلات باعث تفاوت شوری اندازه گیری شده در این شرایط با شوری عصاره اشباع خاک وجود دارد. چراکه هرچه شدت رقیق سازی بیشتر گردد، انحراف بیشتری بین غلظت یون‌ها در محلول رقیق شده و محلول خاک وجود دارد. این اختلافات بخاطر انحلال بیشتر املاح، هیدرولیز بیشتر یون‌ها و تغییر در نسبت‌های کاتیونی قابل تبادل می‌باشد. معمولا نمونه‌های خاکی که داری آهک باشند انحراف بیشتری نشان می‌دهند زیرا غلظت کلسیم و سولفات با رقیق سازی نمونه تقریباً ثابت می‌گردند ولی با افزایش رقیق سازی غلظت یون‌های دیگر کاهش می‌یابد. به همین خاطر پیشنهاد می‌گردد در آزمایشات گلدانی حداقل از خاکی استفاده گردد که درصد گچ و آهک آن بسیار ناچیز باشد.

در روش دیگر و با فرض اینکه شرایط ماندگار در گلدان حکمفرماست، هیچ نمکی رسوب، حل و یا جذب گیاه نمی‌شود و جذب آب توسط ریشه گیاه از الگوی ۱۰:۲۰:۳۰:۴۰ پیروی می‌کند، با اندازه‌گیری عمق آب مصرفی (q_{iw}) و عمق آب زهکش شده (q_{dw}) از ته گلدان پس از هر آبیاری و یا اندازه‌گیری میزان شوری آب آبیاری (EC_{iw}) و شوری زهکش (EC_{dw})، می‌توان جزء آبشویی (LF) را محاسبه نمود و با استفاده از روابط ۹و ۱۰ و جدول (۴) میزان شوری عصاره اشباع خاک گلدان را تا حد قابل قبولی محاسبه نمود (آیرز و وسکات، ۱۹۸۵).

$$LF = \frac{q_{dw}}{q_i} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} \quad (9)$$

جدول ۴– فاکتور غلظت (C) برای تخمین میزان شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) با توجه به جزء آبشویی و شوری آب آبیاری (آیرز و وسکات، ۱۹۸۵).

جزء آبشویی (LF)	فاکتور غلظت (C)	جزء آبشویی (LF)	فاکتور غلظت (C)
۰/۰۵	۳/۲	۰/۴۰	۰/۹
۰/۱۰	۲/۱	۰/۵۰	۰/۸
۰/۱۵	۱/۶	۰/۶۰	۰/۷
۰/۲۰	۱/۳	۰/۷۰	۰/۶
۰/۲۵	۱/۲	۰/۸۰	۰/۶
۰/۳۰	۱/۰	–	–

$$EC_e\ (dS\ m^{-1}) = EC_{iw}\ (dS\ m^{-1}) \times C \qquad (10)$$

البته در این آزمایشات با استفاده از دستگاه‌هایی مانند Salinity Bridge می‌توان شوری محلول خاک را در طول دوره رشد با قرار دادن سنسور دستگاه در عمق مشخصی از خاک اندازه‌گیری نمود و اطلاع دقیقی از میزان شوری در منطقه توسعه ریشه پیدا نمود (شکل۹).

شکل۹– اندازه‌گیری شوری محلول خاک با استفاده از دستگاه Salinity Bridge در یک آزمایش گلدانی انار (رفرنس؟؟)

شکل۱۰- نمائی از پروژه تغذیه فسفر و پتاسیم گیاهان شورزیست در باکس‌های پر شده با خاک(رفرنس؟؟)

یکی از اشتباهات رایج در کنترل شوری، آبشویی با آب غیرشور در طول فصل رشد است. در برخی آزمایشات، برای جلوگیری از تجمع نمک در خاک گلدان، برخی از محققین و یا دانشجویان از یکبار آبشویی با آب غیرشور پس از چندبار آبیاری با آب شور استفاده می‌کنند. در این روش، شرایط و تعادلی که در خاک گلدان هنگام استفاده از آب شور در گلدان ایجاد شده ناگهان بهم می‌خورد و پروفیل خاک گلدان در بالا کم شور و در پائین شور خواهد بود ضمن اینکه شوری ایجاد شده به هیچ‌وجه شوری مورد نظر تیمار آزمایش نمی‌باشد. در اینحالت گیاه آب را بیشتر از مناطق کم شور جذب خواهد کرد ضمن اینکه ممکن است برخی از گیاهان با تغییر شرایط شور و غیرشور در گلدان، دچار اختلالات فیزیولوژیکی در مکانیسم‌های تحمل به تنش شوری گردند.

۳-۲-۱-۸- تاثیر تنش خشکی در آزمایشات شوری

بطورکلی هنگام بررسی اثرات تنش شوری، نباید هیچگونه تنش خشکی بر گیاه تحمیل گردد. چراکه برخی از مکانیسم‌های تحمل گیاه به خشکی با مکانیسم‌های تحمل به شوری یکسان است مثل بسته شدن روزنه‌ها بدلیل اثرات اسمزی ناشی از تنش شوری و یا فرایندهای فیزیولوژیکی مثل تجمع پرولین در بافت‌های گیاهی. لذا برای اجتناب از

تداخلات احتمالی و اثر متقابل پیچیده تنش شوری و خشکی، از بروز تنش خشکی در مطالعات شوری اجتنابشود. برای اجتناب از برخی خطاهای احتمالی در مطالعات شوری در اینجا لازم است تا به نکاتی در خصوص آزمایشات تنش خشکی بپردازیم.

در بیشتر آزمایشات گلدانی که برای تحقیقات خشکی طراحی می‌شوند اصل بر این است که آبیاری تا زمانی که خاک گلدان خشک نگردد و گیاه در معرض کم آبی واقع نگردد، آبیاری انجام نشود. این یک پروتکل یا روش صحیح است بجز در مواردی که گلدان کوچک نباشد و گلدان‌ها در ظرف مدت کوتاه (۲ روزه) خشک نشوند چراکه در گلدان‌های کوچک بدلیل ظرفیت کم نگهداری آب خیلی زود خشک می‌شوند و این موضوع به ندرت در شرایط طبیعی و شرایط زارعین رخ می‌دهد. معمولاً تنش به مرور زمان رخ می‌دهد و گیاه دارای درجاتی از تنظیم است تا زمانیکه پژمردگی حاصل گردد. بنابراین تنش خشکی در گلدان‌ها باید بتدریج و حداقل در مدت یک هفته رخ دهد تا بوته‌ها علائم تنش را بتدریج بروز دهند مثل پژمردگی اولیه در اواسط روز. عامل اصلی در مدت زمان این دوره، بیشتر سایز گلدان است تا اندازه بوته. حال در صورتیکهآب آبیاری شور باشد، در اینحالت بدلیل کاهش پتانسیل اسمزی خاک جذب آب توسط گیاه محدودتر شده و احتمالاً علائم کم آبی در گیاه زودتر مشاهدهمی‌گردد.

روش دیگری که در آزمایشات تنش خشکی در برخی مقالات دیده می‌شود تلاش برای حفظ سطح ثابتی از تنش در طول دوره آزمایش است. در این روش فرض بر این است که ظرفیت نگهداری آب گلدان محاسبه می‌شود و سعی می‌شود تا رطوبت گلدان به مقدار کمتر از آن در تیمارهای تنش حفظ شود(مثلاً ۵۰ درصد). در اینصورت با وزن کردن گلدان و جایگزینی مقدار آب از دست رفته نسبت به مقدار سطح تنش (مثلاً ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) مقدار کسری آب اضافه می‌گردد. نتیجه این روش، افزودن مقادیر کم آب به سطح خاک گلدان در بوته‌های تحت تنش است و در نتیجه فقط سطح گلدان آب دریافت می‌کند. این گیاهان فقط در دوره‌های کوتاه زمانی تحت تنش هستند و به تناوب چرخه تنش-بازیافت تکرار می‌شود. این موضوع از لحاظ فیزیولوژیکی بسیار پیچیده است و کاملاً متفاوت از تنش طبیعی با دوره طولانی است. این روش شاید از نظر ریاضی درست باشد اما از نظر فیزیولوژی گیاهی درست نیست. در هنگام استفاده از آب شور در این روش، بدلیل اینکه حجم آب در هر آبیاری کم است لذا آبشوئی نیز انجام نمی‌شود و بتدریج سطح خاک شورتر از اعماق پایین‌تر می‌گردد و در صورت وجود رطوبت در خاک، ترجیح گیاه به جذب آب از مناطق کم شورتر

پروفیل گلدان است. این روش به هیچ وجه برای آزمایشات شوری توصیه نمی‌گردد.

روش دیگر برای اعمال تنش خشکی استفاده از لوله‌های استوانه‌ای مستقیم و دراز PVC می‌باشد که انتهای لوله مهر و موم شده است. بوته‌ها در یک پروفیل کاملاً مرطوب استقرار پیدا می‌کنند. سپس آب فقط از طریق انتهای لوله فراهم می‌گردد (هر لوله بوسیله یک سطل آب با یک مقدار ثابت آب تنظیم شده است). این شبیه سازی برای گیاهانی است که در محیط رشدی با سطح ایستابی عمیق و فاقد بارندگی یا بارندگی کم رشد می‌کنند. در اینجا نقش ریشه‌های عمیق به عنوان یک عامل اصلی که باعث سازگاری به تنش خشکی می‌گردند، مشخص می‌شود. بنابراین محقق می‌تواند تغییرات سطح ایستابی را در تیمارهای مختلف و یا در طول فصل رشد مطالعه نماید.

اغلب محتوی رطوبت خاک در گلدان به عنوان شدت تنش خشکی که گیاه با آن مواجه است، در نظرگرفته می‌شود. این اندازه‌گیری بطور معمول پارامتر موثق‌تر و مناسب‌تری نسبت به وضعیت آب خاک (به تنهائی) برای اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه تحت شرایط محدودیت آب خاک است. اما باید در نظر داشت که اندازه‌گیری رطوبت خاک نیز یکی از پارامترهای ارزیابی شدت تنش است و جزء اصلی نیست. در این مورد، گیاه خود یک شاخص است. هنگامی که رطوبت خاک اندازه‌گیری می‌شود باید از این خطاهای رایج اجتناب کرد: از تانسیومتر استفاده نکنید. چراکه این دستگاه برای اندازه‌گیری پتانسیل آب خاک پائین که در شرایط تنش واقعی رایج است، طراحی نشده است. از انواع پروب‌ها با مصرف خانگی و سنسورهای آب رایج که در فروشگاه‌های باغبانی عرضه می‌شود، استفاده نکنید. روش‌های دقیقی که در گلدان‌ها قابل اجرا هستند عبارتند از سیستم‌های TDR گران‌قیمت تا ثقل سنج‌های[1] ارزان قیمت برای نمونه‌های خاک.

آزمایشات مربوط به روابط آب اغلب شامل توزین وزن گلدان بعنوان یک روش صحیح برای تخمین میزان تعرق در نظر گرفته می‌شود. به یاد داشته باشید که آب نه تنها از طریق تعرق از دست می‌رود بلکه بوسیله تبخیر از سطح گلدان نیز از دست می‌رود. بنابراین برای به حداقل رسانیدن تبخیر و تخمین دقیق‌تر میزان تعرق می‌توانید از مالچ عمیق یا پوشانیدن سطح خاک و دور گلدان‌ها استفاده کنید. وزن کردن گلدان شاهد بدون گیاه نیز یک روش مرسوم است. معمولاً بیشتر ما، بلند کردن و حمل کردن گلدان‌های سنگین را برای وزن کردن دوست نداریم. می‌توان اینکار را با وسایل ابداعی و با استفاده از سیستم‌های هیدرولیکی و یا قرقره انجام داد.

[1]. gravimetric measurements

۳-۲-۲- آزمایشات مزرعه‌ای

بدون شک قابل اعتمادترین آزمایشات تحقیقاتی چه در شرایط متعارف و چه در شرایط شور، مطالعاتی است که در مزرعه انجام و معمولا دو تا سه سال تکرار شده باشد. اما در شرایط شور مشکلی که در ارتباط با انجام آزمایشات وجود دارد، مشکل بودن تهیه تیمارهای مختلف آب شوردر یک مکان می‌باشد. اغلب تهیه همزمان دو تیمار آب با کیفیت‌های مختلف در یک نقطه امکان پذیر می‌باشدولی یا هدایت الکتریکی آب شور موجود آنقدر نیست که بتوان تحمل به شوری همه گیاهان زراعی را با آن آزمایش نمود و یا اینکه امکاناتی به منظور تهیه تیمارهای مختلف آب شور با ترکیب آب غیر شور و شور در ایستگاه یا منطقه وجود ندارد. اگرچه در برخی مواقع با ایجاد کرت‌های کوچک و درست کردن سطوح مختلف شوری با استفاده از نمک‌های مختلف در مخازن آب می‌توان تا حدودی این مشکل را حل نمود ولی این روش علاوه بر برهزینه‌های زیاد، دارای مشکلات فراوانی در هماهنگی و تهیه وسائل مورد نیاز دارند. همچنین انجام آزمایش در کرت‌های کوچک نیز ممکن است خطاهای آزمایشی را زیاد کرده و دقت آزمایش کم گردد. اصولی‌ترین راه که آن نیز نیاز به هزینه بالا جهت ایجاد زیرساخت اولیه در ابتدای کار می‌باشد، احداث یک استخر بزرگ ذخیره آب غیر شور و یک استخر ذخیره آب شور با شوری بیشتر از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. با داشتن دو سطح شوری کم و زیاد، می‌توان شوری‌های متفاوت مابین این دو سطح شوری ایجاد کرد. برای اینکار زیرساخت‌های اولیه‌ای مانند اتاقک زیرزمینی مجهز به پمپ آب، امکانات تهیه ترکیبات مختلف تیمارهای شوری و شوری‌سنج قابل حمل نیاز می‌باشد (شکل۱۲). همچنین شیب لوله‌های کار گذاشته از محل پمپ تا هر قطعه آزمایشی باید به گونه‌ای باشد که پس از کابرد هر تیمار آب شور، آب به طور کامل تخلیه گردد تا بتوان تیمار دیگر آب شور را وارد سیتم نمود.

شکل۱۲- نمایی از امکانات ایجاد شده به منظور تهیه دامنه‌ای از تیمارهای آب شور از آب غیر شور (۲ دسی‌زیمنس بر متر) تا آب بسیار شور (۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) در مزرعه تحقیقاتی مرکز ملی تحقیقات شوری

شکل۱۳- نمایی از چگونگی توزیع آب شور در آزمایشات مزرعه ای تحقیقات شوری(رنجبر و اسماعیلی،۱۳۸۴)

شکل۱۴- نمایی از آزمایش مزرعه‌ای تعیین حد آستانه تحمل به شوری گندمدر ایستگاه تحقیقات شوری صدوق وابسته به مرکز ملی تحقیقات شوری

۳-۲-۲-۱- کنترل شوری در مزرعه

حتی یک آب با کیفیت خوب حاوی ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از املاح محلول است . یک آب که حاوی ۵۰۰ میلی گرم (معادل ۵۰۰ میلی گرم در لیتر) املاح می‌باشد حاوی نیم تن نمک در ۱۰۰۰ متر مکعب آب می‌باشد . با توجه به اینکه ۶۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر مکعب آب در هکتار در هر سال مورد نیاز محصولات می‌باشد لذا در یک سال هر هکتار حدود ۳ تا ۵ تن نمک دریافت می‌کند . با توجه به جذب ناچیز نمک توسط گیاهان ، نمک در منطقه توسعه ریشه تجمع می‌یابد که این مقدار بایستی با در نظر گرفتن جزء آبشویی از منطقه توسعه ریشه شسته شود . اگر زهکشی کافی نباشد مقادیر آب مازاد باعث بالا رفتن سطح ایستابی شده و با حرکت املاح به سمت بالا باعث تجمع در منطقه توسعه ریشه می‌شوند. در اینجاست که اگر میزان تبخیر و تعرق کمتر از میزان آب بکار رفته باشد تنش غرقابی نیز به وقوع می‌پیوندد.

همانطور که قبلا نیز گفته شد شوری که گیاه با آن مواجه است شوری محلول آب خاکو نه شوری عصاره اشباع خاک است. با

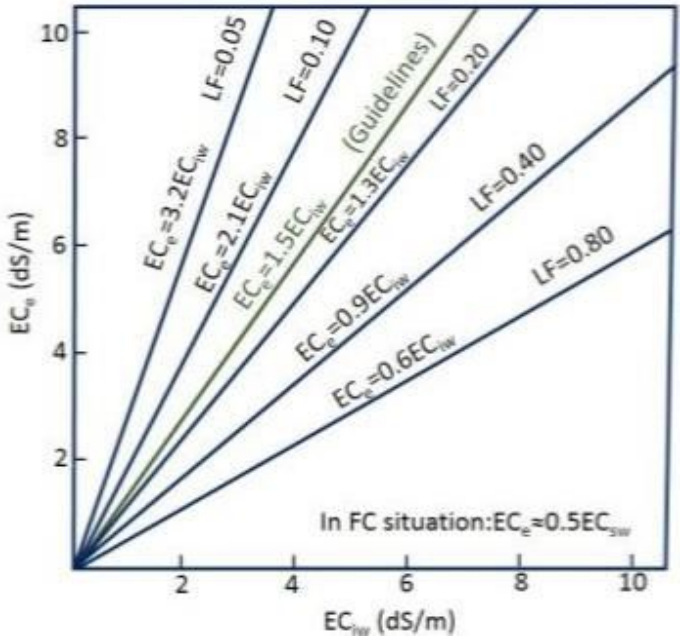
این‌حال اندازه‌گیری شوری عصاره اشباع خاک راحت‌تر و به عنوان یک شاخص بین‌المللی برای اطلاع از وضعیت شوری خاک در منطقه توسعه ریشه پذیرفته شده است. بنابراین اندازه گیری شوری خاک و همچنین کنترل شوری در منطقه توسعه ریشه در خاک در شرایط آزمایشات مزرعه‌ای عملی‌تر می‌باشد.

آنچه مسلم است در شرایط مزرعه، متوسط شوری خاک منطقه ریشه و توزیع نمک در این منطقه بسته به میزان جزء آبشوئی و همچنین کیفیت آب آبیاری متفاوت می‌باشد. بنابراین با فهم دقیق این دو فاکتور می‌توان تا حد قابل توجهی میزان شوری در خاک و به ویژه در منطقه توسعه ریشه را مدیریت نمود. معمولا در شرایطی که مقدار جزء آبشوئی کم در نظر گرفته شود،بعبارت دیگر آب مورد نیاز برای شستشوی نمک در منطقه توسعه ریشه محاسبه نگردد، تجمع نمک در منطقه ریشه بیشتر می‌گردد. لذا لازم است علاوه بر نیاز آبی گیاه درصدی نیز به آب آبیاری با عنوان جزء آبشوئی اضافه نمود تا شوری در منطقه توسعه ریشه تجمع ننماید. بنابراین با اعمال جزء آبشویی متفاوت می‌توان میزان شوری‌های متفاوتی در منطقه توسعه ریشه ایجاد نمود. برای مثالوقتی شوری آب آبیاری ۲ دسی‌زیمنس بر متر است متوسط شوری در عمق توسعه ریشه از ۶/۸ دسی‌زیمنس بر متر در کمترین میزان جزء آبشوئی تا ۳ دسی‌زیمنس بر متر در بیشترین میزان جزءآبشویی می‌تواند متفاوت باشد. همچنین با تیمار آب شور ۴ دسی‌زیمنس بر متر می‌توان دامنه‌ای از متوسط شوری خاک از ۱۰/۳ دسی‌زیمنس بر متر در جزء آبشویی کم تا ۴/۶ دسی‌زیمنس بر متر در بیشترین جزء آبشویی در مزرعه ایجاد نمود (هانسون و همکاران، ۲۰۰۶).

با این‌حال علاوه بر میزان شوری آب آبیاری و جزء آبشویی، بافت خاک، الگوی جذب آب توسط ریشه، نوع آبیاری و حتی سطح ایستابی نیز بر میزان شوری خاک تاثیر دارد. بطورکلی با توجه به موارد فوق بین هدایت الکتریکی محلول عصاره اشباع خاک (EC_e) و هدایت الکتریکی آب آبیاری (EC_{iw}) رابطه زیر برقرار است (آیرز و وسکات، ۱۹۸۵):

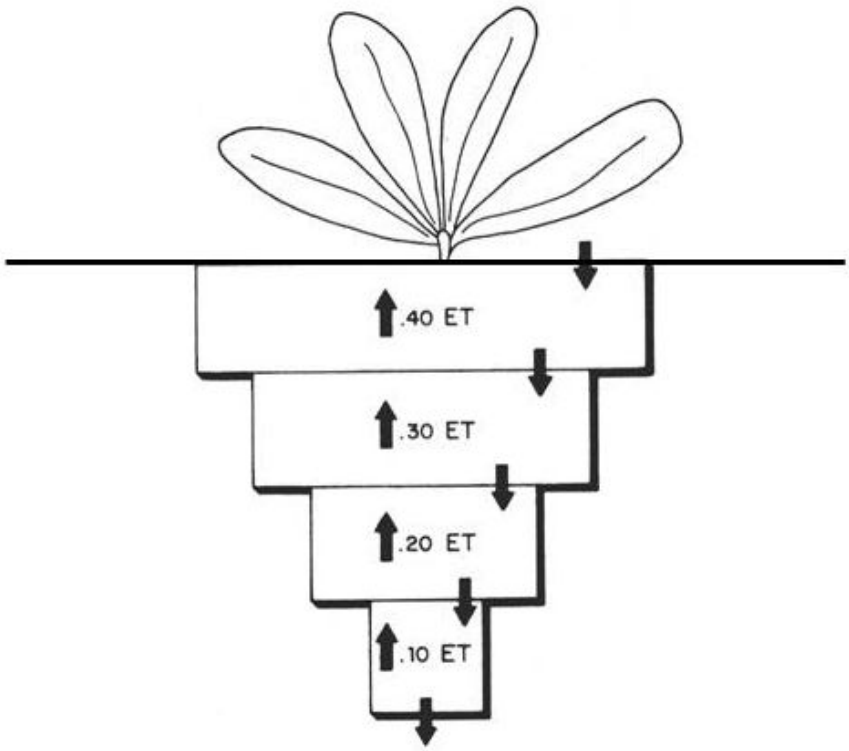
$$EC_e=a\times EC_{iw} \quad (۱۱)$$

البته بایستی توجه داشت که در ارتباط با رابطه(۱۱) موارد زیر قابل ذکر می‌باشد. اول اینکه مقدار عددی a با توجه به شکل(۱۵) کاملاً وابسته به کسر آبشویی می‌باشد. بنابراین تنها درصورتی‌که کسر آبشویی بین ۱۵ تا ۲۰ درصد باشد، شوری عصاره اشباع خاک (EC_e) معادل ۱/۵ برابر شوری آب آبیاری(EC_{iw}) خواهد بود. به همین خاطر در شرایط فاریاب و با راندمان ۶۰ تا ۷۰ درصد آبیاری (کسر آبشویی ۴۰-۳۰ درصد) مقدار عددی a در حدود ۰/۸ تا ۰/۹ می‌باشد. بنابراین در این شرایط و در حالت ماندگار، شوری عصاره اشباع خاک به میزان قابل توجهی کمتر از شوری آب آبیاری می‌باشد. این حالت بخصوص در خاک‌ها سبک بیشتر مشهود است.



شکل۱۵- رابطه بین شوری آب آبیاری(ECiw)و شوری عصاره اشباع خاک(ECe)با توجه به جزءهای آبشوئی متفاوت (اقتباس از آیرز و وسکات، ۱۹۸۵)

رابطه(۱۱) همچنین در صورتی صادق است که املاح تجمع یافته در خاک از املاح موجود در آب آبیاری باشد. بنابراین اگر منبع دیگری از نمک مثل سطح ایستابی بالا وجود داشته باشد این رابطه معتبر نمی‌باشد (آیرز و وسکات،۱۹۸۵). از شرایط دیگر برای این رابطه، الگوی جذب آب بر اساس ۴۰، ۳۰، ۲۰ و ۱۰ از لایه‌های اول تا چهارم در منطقه توسعه ریشه می‌باشد (شکل۱۶). با توجه به این مدل فرض بر این است که گیاه ۴۰ درصد از نیاز تبخیر تعرقی خود را از یک چهارم لایه بالایی منطقه توسعه ریشه، ۳۰ درصد را از یک چهارم بعدی، ۲۰ درصد از یک چهام بعدی و در نهایت ۱۰ درصد هم از یک چهارم پایینی جذب می‌نماید (آیرز و وسکات، ۱۹۸۵).



شکل۱۶– مدل پیشنهادی الگوی جذب آب توسط گیاه بر اساس رابطه شماره ۱۱ (آیرز و وسکات، ۱۹۸۵)

۳-۲-۲-۲- نکات مهم در انجام آزمایشات مزرعه‌ای در شرایط شور

الف- تعیین شوری خاک در طول فصل رشد:

همانطور که گفته شد یکی از روش‌های بیان واکنش گیاه شوری به شوری اندازه‌گیری شوری عصاره اشباع خاک می-باشد. برای تعیین شوری خاک در آزمایشات مزرعه‌ای، لازم است بین ۴ تا ۵ بار به ویژه در مراحل رشدی حساس گیاه از تمامی کرت‌های آزمایشی نمونه و تا عمق توسعه ریشه نمونه خاک تهیه نمود. بهتر است نمونه‌گیری با استفاده از اُگر و در اعماق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی‌متری و در مرحله گاورو صورت گیرد. تهیه میانگین از تعداد زیاد نمونه‌گیری در طول فصل رشد بایستی بصورت اصولی و با توجه به موارد زیر انجام گیرد:

۱- داده‌هایشوری خاک مربوط به قبل از کاشت که گیاه در زمین وجود نداردو یا پس از برداشت محصول و همچنین محصول خشک شده در زمین که سیستم ریشه‌ای فعال ندارد، نباید در میانگین‌گیری متوسط شوری خاک در نظر گرفته شود.

۲- نمونه‌ها در هر زمان تا عمق توسعه ریشه تهیه شود بنابراین در اوائل فصل رشد که رشد ریشه محدود به سطح لایه سطحی خاک است، نیاز به تهیه نمونه خاک در اعماق پائین‌تر نمی‌باشد.

۳- نمونه‌گیری در همه تکرارها و برای همه تیمارها بطور کامل انجام گیرد.

۴- نمونه‌گیری‌های بعدی تا حد امکان از اطراف محل نمونه قبلی(نه دقیقاً از محل قبلی) صورت گیرد.

۵- در کرت‌های بزرگ، از چند محل نمونه‌گیری صورت گیرد. در صورتیکه کرت، بزرگ و دارای تسطیح مناسب باشد می‌توان نمونه‌های هر عمق را با هم ترکیب کرد تا یک نمونه برای هر عمق بدست آید.

۶- در صورتیکه در یک کرت بزرگ، چند رقم/ تیمار وجود داشته باشد، از محل هر رقم/ تیمار یک نمونه خاک تهیه گردد. اینکار می‌تواند در تفسیر نتایج بدست آمده کمک کند.

۷- توصیه می‌گردد پس از تهیه نمونه‌ها، منافذ ایجاد شده در سطح مزرعه پر گردد.

ب- درکشت‌هایجویوپشته‌ای،طولردیف‌هانبایدطولانیگرددوشیبآننیزبسیارملائمباشدتاآببصورتیکنواختدرطولپشتهتوزیعگردد. درغیراینصورتغیریکنواختیشوریزیادخواهدشد. دراینسیتمکشت،نمونه‌گیریراازداخلجویانجامدهید.

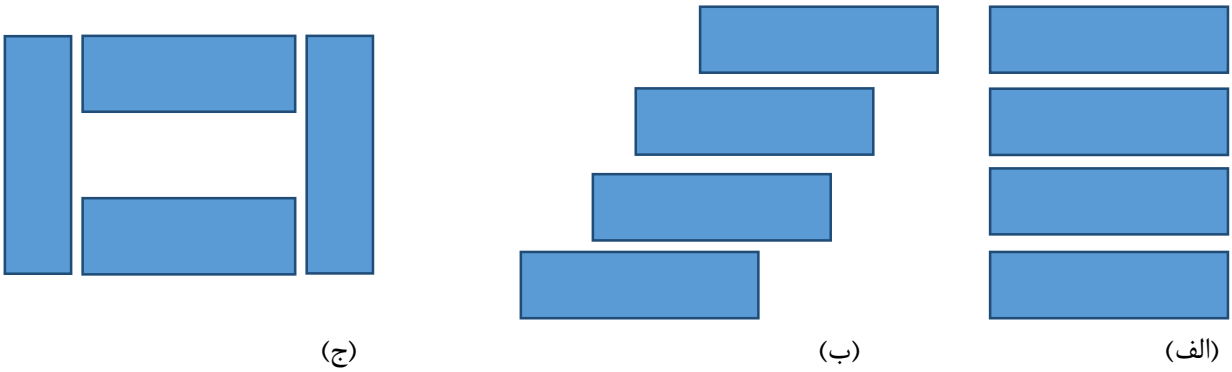
ج- با توجه به اینکه شوری بالای خاک در ابتدای فصل رشد باعث سبزشدن غیر یکنواخت گیاه می‌گردد و این می‌تواند نتایج داده‌ها را به دلیل غیریکنواختی بوته‌ها و نه بخاطرتنش شوری تحت تاثیر قرار دهد، بهتر است تا استقرار بوته‌ها تمام مزرعه با آب غیر شور آبیاری گردد. این امر باعث می‌گردد تا درصد بوته یکنواختی در تمام تیمارها در مزرعه ایجاد گردد.

د- با توجه به اینکه میزان رطوبت خاک در کرت‌های آبیاری شده با آب شور به دلیل تبخیر و تعرق کمتر در مقایسه با کرت‌های شاهد بیشتر است، توصیه می‌گردد در آزمایشات شوری، حجم آب مورد استفاده در هر تیمار بر اساس میزان رطوبت خاک انجام گیرد. اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک می‌تواند توسط دستگاه‌های رطوبت سنج، دستگاه TDR و یا به

روش رطوبت وزنی با تهیه نونه خاک در عمق توسعه ریشه یک روز قبل از آبیاری انجام پذیرد. جزئیات کاربرد حجم‌های متفاوت آب شور با استفاده از روش تهیه نمونه خاک توسط رنجبر و همکاران (۲۰۱۵) آورده شده است.

۳-۲-۲-۳-نکات آماری در آزمایشات کشاورزی در شرایط شور

۱- اصولاً پیدا کردن یک قطعه یکنواخت از لحاظ شوری بسیار مشکل است لذا قبل از شروع آزمایش نمونه‌های خاک از نقاط مختلف مزرعه انتخابی، گرفته و شوری آنرا در آزمایشگاه تعیین می‌گردد. در صورتی که تغییرات شوری بالا باشد قبل از کشت، می‌بایست حداقل دو بار آبشویی با آب کم شور یا غیرشور انجام گردد تا تغییرات شوری خاک به حداقل برسد. در صورتی که امکان آبشویی وجود نداشت و یا حتی بعد از آبشویی باز هم غیریکنواختی زیاد بود، سعی شود بلوک‌ها/تکرارهای آزمایش به گونه‌ای چیده شود که غیر یکنواختی شوری بین بلوک‌ها باشد نه در داخل بلوک. برای اینکار هم لازم نیست حتماً بلوک‌ها موازی یکدیگر باشند. سلطانی(۱۳۸۵)، چند شکل از نحوه قرار گرفتن بلوک‌ها را در شرایط غیریکنواختی محیط آزمایش نشان داده است که در شکل(۱۷) آمده است.



شکل۱۷- در صورتی که غیریکنواختی شوری منظم و عمود بر جهت بلوک‌ها باشد از شکل(الف) استفاده می‌شود. شکل‌های(ب) و (ج) بر اساس شناخت یا تصور از شوری محیط به قسمت‌هایی که از لحاظ شوری یکنواخت هستند(سلطانی،۱۳۸۵).

بطورکلی چیدمان تکرارها به گونه‌ای باشد که شوری خاک در هر تکرار تا حد امکان یکسان باشد تا تیمارها اثرات واقعی خود را نشان بدهند.

۲- شکل واحدهای آزمایشی: در خاک‌های همگن، کرت‌ها یا واحدها را به شکل مربع یا مستطیل یا هر شکل درمی‌آورند ولی در خاک‌های ناهمگن بهتر است کرت‌ها به شکل مربع باشند زیرا یکنواختی در آن بیشتر از مستطیل است.

۳- تعداد تکرار: معمولاً تعداد تکرارها باید بین ۸ـ۳ باشد چراکه تکرارکمتر از سه ازلحاظ آماری قابل قبول نیست و تکراربیش از ۸ نیز ازلحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست. هرچه اشتباه آزمایش بیشتر باشد لازم است تا تعداد تکرار بیشتر باشد و همچنین در صورتی که اختلاف بین تیمارها کم باشد نیاز به تکرار بیشتری خواهیم داشت. بطورکلی در صورت حساس بودن آزمایش، تعداد تکرار را تا ۸ افزایش داده و در صورت کم بودن حساسیت آزمایش، تکرار را تا ۳ کاهش می‌دهند.

۴- انتخاب طرح آزمایشی: معمولاً در آزمایشات مزرعه‌ای تیمارهای شوری نیاز به کرت‌های بزرگتری نسبت به سایر تیمارها دارند. بنابراین در صورتی که تعداد فاکتورهای آزمایشی بیشتر از ۲ باشد، محققین در بیشتر موارد از طرح اسپلیت پلات استفاده می‌کنند. توجه به این نکته ضروری است که آزمایشات فاکتوریل از دقت بیشتری نسبت به اسپلیت پلات برخوردار هستند و لذا در صورت امکان بهتر است از فاکتوریل استفاده شود. البته در برخی مواقع استفاده از فاکتوریل ممکن است باعث افزایش خطاهای اجرایی در آزمایش گردد مثل نفوذ آب شور به داخل کرت مجاور غیرشور. در شرایط گلخانه‌ای که تقریباً دارای شرایط یکسانی است و محقق کنترل بیشتری بر آزمایش دارد، بهتر است از فاکتوریل بجای اسپلیت پلات استفاده کند.

۵- دقت در تجزیه داده‌های آزمایشی: در صورت داشتن کرت گمشده نیازی به برآورد آن نیست، در ضمن با توجه به اینکه عددهای بدست آمده در تیمارهای شور معمولاً نسبت به شرایط غیرشور کوچکتر هستند، لذا دارای واریانس کوچک‌تری نیز هستند بنابراین در اینحالت از برشدهی فیزیکی برای انجام تجزیه داده‌ها استفاده می‌شود (سلطانی،۱۳۸۵، آناقلی و رنجبر، ۱۳۹۷).

۴- منابع

آناقلی، ا.، اسماعیلی، ش.، سلطانی، و.، و غفاریان، ح.ر. ۱۳۸۳. تاثیر تنش شوری بر رشد و عملکرد پنبه در مراحل مختلف نمو. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. مرکز ملی تحقیقات شوری. شماره ثبت: ۸۴/۷۹۱.

رنجبر، غ. حاجی آخوندی میبدی، ه.، و م. وظیفه دوست. ۱۳۸۴. گزارش نهایی تعیین دوره بحرانی حساسیت به شوری دو رقم گندم نان. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. مرکز ملی تحقیقات شوری. شماره ثبت: ۸۴/۷۹۶.

رنجبر، غ. و ش. اسماعیلی. ۱۳۸۴. گزارش نهایی تعیین آستانه تحمل به شوری در پنج رقم گندم نان. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. مرکز ملی تحقیقات شوری. شماره ثبت: ۸۴/۷۹۳.

رنجبر، غ. و ا. آناقلی. ۱۳۹۷. مفاهیم تنش شوری و واکنش گیاه. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. ۱۴۷ صفحه.

سلطانی، ا. ۱۳۸۵. تجدید نظر در کاربرد روش‌های آماری در تحقیقات کشاورزی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۷۴ صفحه.

رنجبر، غلامحسن. ۱۳۸۳. ارزیابی آزمایشگاهی و مزرعه‌ای تحمل به شوری ارقام و لاینهای گندم نان درمرحله جوانه زنی و مراحل اولیهٔ رشد. مرکز ملی تحقیقات شوری. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.۸۳/۴۹۰.

رنجبر، غ.ح. و ه.پ. انوشه. ۱۳۹۴. نگاهی به تحقیقات شوری در ایران با تاکید بر بهبود تولید گیاهان زراعی. مجله علوم زراعی ایران. جلد ۱۷ (۲): ۱۶۵-۱۷۸.

هاشمی‌نژاد، ی. و م. غلامی توران پشتی. ۱۳۸۷. معرفی روش مناسب پرکردن ستون‌های دست خورده خاک و ارزیابی آن جهت حصول محیط متخلخل همگن. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۲ (۲): ۴۴۷-۴۵۵.

Ayers, R. S. and Wescot, D. W. 1985.Water quality for agriculture.Irrigation and Drainage paper.No. 29, Rev. 1, FAO, Rome.

Briggs, L.J. 1899. Electrical instruments for determining the moisture, temperature and soluble salt contents of soils. U.S. Dept. Agr., Div. Soils Bul. 15,35pp., illus.

Bugbee, B. 1995.Nutrient management in recirculating hydroponic culture.Proceedings of the Hyroponics Society of American. E.L. Cerrito. C.A.P. 15-30.

Coolbear, P. 1980. Osmotic pre-sowing treatments and nucleic acid accumulation in tomato seeds (Lycopersicon lycopersicum). Seed Science and Technology, 8: 289-303.

Davies, R., A. Di Sacco and R. Newton. 2015. Germination testing: procedures and evaluation. Royal Botanic Gardens, Kew.Technical Information Sheet_13a Millennium Seed Bank Partnership, Wakehurst Place, Ardingly, West Sussex RH17 6TN, UK.

Gedroiz, K.K. 1917. Saline soils and their improvement.Zhur.Opyth. Agron.(J. of Exp. Landw). 18:122-140.

Hale, M.G., Orcutt, D.M. 1989. The physiology of plants under stress.John Wiley & Sons Publications. 206pp.

Hale, M.G., Orcutt, D.M. 1989. The physiology of plants under stress.John Wiley & Sons Publications. 206pp.

Hanson, B.R., S.R. Grattan, and A. Fulton. 2006. Agricultural salinity and drainage. University of California, Department of Land, Air and Water Resources, Davis.60 PP.

Harris, J.A., Gortner, R.A., Hoffman, W.F., and Others. 1924. The osmotic concentration specific electrical conductivity and chloride content of the tissue fluids of the indicator plants of Tooele Valley, Utah. J.Agric. Res.27:893-924.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and M. Fojita. 2013. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. p: 25-88. In: P.Ahmad, M.M. Azooz, and M.N.V. Prasad(eds.). Ecophysiology and responses of plants under salt stress.Springer, New York Heidelberg Dordrecht London. DOI: 10.1007/978-1-4614-4747-4.

Jajoo, A., 2013. Changes in photosystem II heterogeneity in response to high salt stress.p: 149-168. In: P.Ahmad, M.M. Azooz, and M.N.V. Prasad(eds.). Ecophysiology and responses of plants under salt stress.Springer, New York Heidelberg Dordrecht London. DOI: 10.1007/978-1-4614-4747-4.

Kearney, T.H., and Scofield, C.S. 1936. The choice crops for saline land. U.S.Dept.Agr.Cir. 404, 24pp.

Maas, E.V. and Grattan, S.R. 1999. Crop yield as affected by salinity. Agric. Drain. Agron.Monograph. 38: 55-107.

Maas, E.V. and J. A. Poss. 1989.Salt sensitivity of wheat at various growth stages.Irrig. Sci. 10: 29-40.

Mass, E.V., Poss, J.A., and Hoffman, G.J. 1986.Salinity Sensitivity of Sorghum at Three Growth Stages.Irrig. Sci. 7: 1-11.

Munns, R., and James, R.A. 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. Plant and Soil. 253: 201-218.

Nieman, R.H., and M.C. Shannon. 1976. Screening plants for salinity tolerance. In: M.J. Wright (ed.).Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soil. Cornell University Press Ithaca, New York. pp. 359-367.

Panta, S., T. Flowers, P. Lane, R. Doyle, G. Haros and S. Shabala. 2014. Halophyte agriculture: Success stories. Environ. Exp. Bot. 107: 71-83.

Porrter, H., Buhler, J., Van Dusschoten, D., Climent, J. and Postma, J.A. 2012. Pot size matters: a meta-analysis of the effects of rooting volume on plant growth. Functional Plant Biology.39: 839-850.

Ranjbar, G.H., H. Ghadiri, F. Razzaghi, A.R. Sepaskhah, and M edalat. 2015. Evaluation of SALTMED model for sorghum under saline conditions in arid region. Int. J. Plant. Prod. 9 (3): 372-392.

Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.Agriculture handbook, USDA, Handbook No. 60.

Whitney, M. and Means, T.H. 1897.An electrical method of determining the soluble salt content of soils. U.S. Dept. Agric., Div. Soils Bul. 8, 30pp., illus.