

مدل هیدروتایم: شاخصی برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در مرحله جوانه‌زنی

ساعد حمیدی^۱، فرشید قادری^{۲*}، آسیه سیاهمرگویی^۲، بنیامین ترابی^۲، مهدی بهروج^۳

۱. فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

۲. دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

۳. دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب پایه سرعت جوانه‌زنی قدرت بذر یکنواختی جوانه‌زنی	به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذر ژنوتیپ‌های مختلف کینوا (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۸ طراحی و انجام شد. در این مطالعه پاسخ جوانه‌زنی بذرهای ژنوتیپ‌های مختلف کینوا (تی‌تی‌کا، ردکارینا، جی‌زا، کیو۱۲، کیو۲۱، کیو۲۲، کیو۲۶، کیو۲۹ و کیو۳۱) به خشکی (صفر، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۲ و ۱/۶- مگاپاسکال) با استفاده از مدل هیدروتایم کمی‌سازی شد. نتایج نشان داد که همه ژنوتیپ‌ها تا پتانسیل ۰/۴- مگاپاسکال دارای جوانه‌زنی بالایی بودند و به‌طور میانگین درصد جوانه‌زنی آن‌ها بالای ۹۰ درصد بود؛ اما با منفی‌تر شدن پتانسیل آب، اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ درصد جوانه‌زنی افزایش یافت. بر اساس مدل هیدروتایم بین ژنوتیپ‌های مختلف کینوا از نظر پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی (ψ_{b50})، ضریب هیدروتایم (OH) و یکنواختی جوانه‌زنی ($\sigma_{\psi b}$) اختلاف معنی‌داری وجود داشت. مقدار عددی پارامتر ψ_{b50} از ۱/۶۲- در ژنوتیپ ردکارینا تا ۱/۹۷- در ژنوتیپ کیو۲۹ در نوسان بود. این امر نشان می‌دهد که این گیاه در مرحله جوانه‌زنی به خشکی متحمل است. کمترین و بیشترین ضریب هیدروتایم در ژنوتیپ‌های ردکارینا و کیو۲۹ به ترتیب با ۱۷/۰۹ و ۲۵/۰۷ مگاپاسکال در ساعت (با میانگین ۲۱/۳۶ مگاپاسکال در ساعت) و کمترین یکنواختی جوانه‌زنی نیز در ژنوتیپ کیو۲۹ (۰/۴۱ مگاپاسکال) و بیشترین آن در ژنوتیپ کیو۱۲ (۰/۲۳ مگاپاسکال) مشاهده شد. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که بذرهای این گیاه سرعت جوانه‌زنی بالایی داشته و از تحمل بالایی به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی برخوردارند؛ این امر شانس استقرار سریع‌تر کینوا در شرایط کمبود آب را افزایش می‌دهد. همچنین توانایی تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی کینوا، نیاز به مصرف آب در این مرحله را کمتر می‌کند که این امر می‌تواند در تدوین برنامه‌های مدیریتی که منجر به افزایش کارایی مصرف آب می‌شود، بسیار مفید و کاربردی باشد.

مقدمه

کم‌آبی قرار خواهند گرفت و تا سال ۲۰۵۰ بیش از نیمی از مردم جهان (۵۷ درصد) حداقل یک ماه در سال از کمبود آب رنج خواهند برد (Larsen, 2009; Nations Unies, 2018). طبق گزارش سازمان ملل در آینده‌ای نزدیک، ۳۱ کشور جهان با کمبود آب روبرو خواهند شد و ایران نیز یکی از بزرگ‌ترین کشورهای درگیر بحران آب در آینده خواهد بود (Nations Unies, 2018; Alizadeh et al., 2019).

وقوع خشک‌سالی‌های پی‌درپی در اثر بروز پدیده تغییر اقلیم نقش مهمی در کاهش تولید محصولات زراعی در بسیاری از مناطق کره زمین داشته است (Momeni, 2016; Furuya and Koyama, 2005). شواهد حاکی از آن است که خشک‌سالی و تباعث ناشی از آن بخش‌های زیادی از کره زمین را تحت تأثیر خود قرار خواهد داد؛ به‌نحوی که تا سال ۲۰۲۵ حدود دوسوم جمعیت جهان تحت تأثیر تنش ناشی از

جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین فرآیندها در چرخه زندگی گیاهان بوده (Windauer et al., 2007) و تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و ژنتیکی قرار دارد (Shafii and Price, 2001). در بین عوامل محیطی، خشکی می‌تواند فرآیند جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه‌ها را به میزان زیادی تحت تأثیر خود قرار دهد. از این رو تحمل به این تنش در مراحل اولیه‌ی نمو گیاهان بسیار حائز اهمیت بوده و بذرهایی که توانایی جوانه‌زنی در این شرایط را داشته باشند، استقرار موفق، تراکم مناسب و عملکرد بالایی خواهند داشت (Mirfazeli et al., 2019). نتایج تحقیقات نشان داده است که این ویژگی در ژنوتیپ‌ها، محموله‌ها و ارقام مختلف متفاوت است. از این رو اطلاع از آستانه تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه می‌تواند در توصیه کشت آن‌ها در مناطق مختلف بسیار مفید باشد. در این راستا میرفاضلی و همکاران (Mirfazeli et al., 2019) با هدف شناسایی محموله‌های متحمل ریحان به تنش شوری و خشکی در مرحله سبز شدن، آزمایشی را روی بیست توده ریحان (*Osimum basilicum* L.) انجام دادند و دریافتند که توده‌های اصفهان ۲ و شیراز در شرایط بدون تنش، توده‌های اصفهان ۲، اصفهان ۳ و بیرجند در شرایط تنش خشکی و توده‌های پیشوا و زاهدان در شرایط تنش شوری، سبز شدن بهتری داشتند. شیرازی و همکاران (Shirazi et al., 2016) آزمایشی را با هدف ارزیابی تحمل به خشکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس ۸۶ ژنوتیپ بومی و تجاری گندم نان در مرحله جوانه‌زنی انجام دادند و ژنوتیپ‌های خزر ۱، خوی، چمران، مهدوی را جزو ژنوتیپ‌های مقاوم و ژنوتیپ‌های بولانی، سیمینه و گلستان را به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به خشکی معرفی نمودند. این اصل در مورد کینوا نیز صدق می‌کند؛ زیرا این گیاه دارای بیش از ۳۰۰۰ رقم و اکوتیپ است که هرکدام از آن‌ها از جنبه‌های مختلف ظاهری، رفتاری و سازگاری از جمله ارتفاع، رنگ گل‌آذین، میزان ساپونین، حساسیت به طول روز، طول دوره رشد و حساسیت به خشکی و شوری با هم تفاوت دارند (Bazile and Baudron, 2015). اگرچه طبق تحقیقات انجام‌شده، کینوا از توانایی قابل‌قبولی در تحمل شرایط نامساعد ناشی از تنش خشکی برخوردار است (Mamedi et al., 2017)، اما لازم است آستانه تحمل به خشکی ارقام مختلف این گیاه در برابر این تنش تعیین گردد. مدل هیدروتایم یکی از مدل‌های تجربی رایج در مطالعات اثرات تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذرها است. این مدل دارای سه

پیش‌بینی شده است که جمعیت ایران در سال ۱۴۰۴ هجری خورشیدی (۲۰۲۵ میلادی) به ۹۰ میلیون و در سال ۱۴۲۹ (۲۰۵۰) به حدود ۱۱۵ میلیون نفر برسد. جمعیت جهان نیز در سال‌های یادشده به ترتیب به حدود ۷/۷ و ۹ میلیارد نفر خواهد رسید (Nasehi, 2002). تجزیه و تحلیل دانشمندان نشان می‌دهد که با روش‌های کنونی تولید، کمبود مواد غذایی در جهان معادل یک‌سوم نیاز آن زمان خواهد بود (Yazdi-Samadi, 2017). این در حالی است که تغییرات اقلیمی، خطر کاهش امنیت غذایی را جدی‌تر نموده و آن را به یکی از مهم‌ترین چالش‌های بشر در قرن بیست و یکم تبدیل کرده است (Kiani Ghalehsard et al., 2019). نتایج تحقیق رأی و همکاران (Ray et al., 2019) نشان می‌دهد که تحت تأثیر تغییر اقلیم تقریباً نیمی از کشورهای ناامن از نظر امنیت غذایی با چالش بیشتری در تأمین کالری مواجه خواهند بود. در ایران نیز چنین نگرانی‌هایی وجود دارد و تحقیقات متعددی در این زمینه با هدف پیش‌بینی تبعات ناشی از پدیده تغییر اقلیم و معرفی راهکارهایی در جهت کاهش اثرات آن انجام شده است (Kiani Ghalehsard et al., 2019; Soltani et al., 2020).

تغییر در الگوی کاشت از طریق استفاده از ارقام مقاوم به خشکی، راهکاری است که توسط بسیاری از محققان جهان در جهت کاهش اثرات منفی ناشی از تغییر اقلیم توصیه شده است (Keshavarz, 2019; Tesfaye et al., 2018)، اما اصلاح برای تحمل به خشکی با مشکلات زیادی مواجه است. از این رو به نظر می‌رسد معرفی و توسعه کشت گیاهانی که ذاتاً مقاومت بالایی به این تنش دارند، راهکار مناسب‌تری باشد. یکی از گیاهان متحمل به تنش خشکی کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) است.

کینوا یکی از قدیمی‌ترین محصولات زراعی در منطقه آند در آمریکای جنوبی بوده و بیش از ۷۰۰۰ سال پیش در این منطقه اهلی شده است. از آن زمان تا آغاز دهه ۱۹۸۰، کشت و کار کینوا فقط به منطقه آند محدود بود؛ اما با شناسایی و معرفی این گیاه ارزشمند، کشت آن در دنیا به سرعت گسترش یافت؛ به طوری که در سال ۲۰۱۵ در ۹۵ کشور جهان کشت گردید (Bazile and Baudron, 2015). طبق آمار سازمان خواربار جهانی سطح زیر کشت این محصول در سال ۲۰۱۹ معادل ۱۸۴۵۸۵ هکتار بوده که از این مساحت، ۱۶۱۴۱۵ تن دانه کینوا برداشت شده است (FAO, 2019).

این مطالعه در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای این آزمایش شامل ژنوتیپ‌های کینوا در نه سطح (تی‌تی‌کاکا، ردکارینا، جی‌زا، کیو۱۲، کیو۲۱، کیو۲۲، کیو۲۶، کیو۲۹ و کیو۳۱) (جدول ۱) و تنش خشکی در پنج سطح (صفر، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۲ و ۱/۶ - مگاپاسکال) بود که به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. بذره‌های ژنوتیپ‌های کینوا از موسسه ثبت و گواهی و نهال بذر تهیه شد و تا شروع آزمایش در یخچال با دمای ۶ تا ۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سطوح مختلف خشکی با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ ایجاد شد (Michel and Kaufmann, 1973).

پارامتر است که این پارامترها شامل پتانسیل آب پایه، ضریب هیدروتایم و سیگما است و به ترتیب نشان‌دهنده تحمل به خشکی، سرعت جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی می‌باشند (Alimagham and Ghaderifar, 2015; Bradford and Still, 2004). از این سه پارامتر به خصوص پتانسیل آب پایه می‌توان در معرفی ارقام جهت کشت در مناطقی با سطوح مختلف خشکی استفاده کرد. از این رو این تحقیق با هدف بررسی پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف کینوا به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی با کمک ضرایب مدل هیدروتایم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

جدول ۱. مشخصات ژنوتیپ‌ها مختلف کینوا در مطالعه حاضر (Bagheri et al., 2020)

Table 1. Characteristics of different quinoa genotypes and cultivars in the present study (Bagheri et al., 2020)

شماره ژنوتیپ Number of Genotype	ژنوتیپ Genotype	تیپ رشد Growth type	وزن هزار دانه 1000 seed weight g	عملکرد دانه Seed yield ton.ha ⁻¹	درصد پروتئین Protein %	محتوای ساپونین Saponin content %
1	تی تی کاکا Titicaca	متوسط رس mid maturing	2.15	3.14	12.14	4.69
2	ردکارینا Red carina	متوسط رس mid maturing	2.63	2.84	12.20	5.23
3	جی‌زا Gzal	زودرس early maturing	2.80	2.15	11.99	4.95
4	کیو۱۲ Q12	دیررس late maturing	3.12	4.97	11.20	4.25
5	کیو۲۱ Q21	دیررس late maturing	2.76	3.10	11.34	5.31
6	کیو۲۲ Q22	دیررس late maturing	3.36	3.08	11.32	5.33
7	کیو۲۶ Q26	دیررس late maturing	2.69	3.74	12.33	5.74
8	کیو۲۹ Q29	دیررس late maturing	2.48	4.50	11.70	5.01
9	کیو۳۱ Q31	دیررس late maturing	2.84	4.07	11.83	5.14

رطوبت مناسب، بعد از ۲۴ ساعت، بذرها به پتری دیش‌های جدید منتقل و به آن‌ها ۳ سی‌سی آب مقطر (یا محلول موردنظر) اضافه شد (Cardoso and Bianconi, 2013). با شروع جوانه‌زنی، بذره‌های جوانه‌زده شمارش شدند. بسته به سرعت جوانه‌زنی، در روزهای اولیه بعد از شروع جوانه‌زنی، شمارش بذره‌های جوانه‌زده روزانه در سه الی پنج مرحله صورت گرفت و با کاهش سرعت جوانه‌زنی، شمارش آن‌ها به یک مرحله در روز کاهش یافت. معیار جوانه‌زنی، خروج

به منظور انجام آزمون جوانه‌زنی، ۴ تکرار ۲۵ تایی از بذره‌های هر ژنوتیپ، به طور تصادفی جدا و در پتری دیش‌های پلاستیکی با قطر ۸ سانتی‌متر روی یک لایه کاغذ صافی قرار گرفتند. سپس ۳ سی‌سی از هر محلول (سطوح خشکی موردنظر) به پتری دیش‌ها اضافه شده و در نهایت همه آن‌ها به آنکوباتوری با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (دمای مطلوب جوانه‌زنی (Hamidi, 2019)) منتقل شدند. لازم به ذکر است از آب مقطر نیز به عنوان تیمار شاهد استفاده شد. جهت تأمین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ، پتانسیل آب و اثر متقابل ژنوتیپ و پتانسیل آب بر درصد جوانه‌زنی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در هر پتانسیل آب، بین ژنوتیپ‌های مختلف کینوا از لحاظ درصد جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). همه ژنوتیپ‌ها تا پتانسیل $-0/4$ مگاپاسکال دارای جوانه‌زنی بالایی بودند (به‌طور میانگین درصد جوانه‌زنی آن‌ها بالای ۹۰ درصد بود)؛ اما با منفی‌تر شدن پتانسیل آب، اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ درصد جوانه‌زنی افزایش یافت. به‌طوری‌که اختلاف بین بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی بین ژنوتیپ‌های کینوا در پتانسیل $-0/8$ ، $-1/2$ و $-1/6$ مگاپاسکال به ترتیب ۱۷، ۱۷ و ۴۲ درصد بود. در پتانسیل -2 مگاپاسکال ژنوتیپ‌های تی تی کاکا، جی زا ۱، کیو ۱۲ و کیو ۳۱ قادر به جوانه‌زنی نبودند و درصد جوانه‌زنی سایر ژنوتیپ‌ها نیز کمتر از ۱۰ درصد بود. از این‌رو می‌توان بیان داشت که در پتانسیل $-1/6$ مگاپاسکال اختلاف بین ژنوتیپ‌های کینوا از لحاظ درصد جوانه‌زنی مشهودتر است (جدول ۳). بیشترین درصد کاهش جوانه‌زنی در پتانسیل $-1/6$ مگاپاسکال نسبت به شاهد در ژنوتیپ تی تی کاکا (۶۵ درصد کاهش) و کمترین درصد کاهش جوانه‌زنی در این پتانسیل نسبت به شاهد در ژنوتیپ کیو ۲۱ (۲۳ درصد کاهش) مشاهده شد؛ بنابراین با توجه به نتایج حاصل می‌توان بیان داشت که برای غربال کردن ژنوتیپ‌های کینوای متحمل و حساس به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی می‌توان از پتانسیل $-1/6$ مگاپاسکال استفاده کرد؛ زیرا پتانسیل‌های پایین‌تر و بالاتر از این سطح قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به خشکی در این گیاه در مرحله جوانه‌زنی نیست.

در زمینه اثرات تنش خشکی بر جوانه‌زنی کینوا مطالعات اندکی صورت گرفته است. در مطالعه‌ای که مامدی و همکاران (Mamedi et al., 2017) روی اثرات تنش خشکی و دما بر جوانه‌زنی بذرها کینوا انجام دادند، بیان داشتند که با افزایش تنش خشکی به‌خصوص در دماهای بالاتر و پایین‌تر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی بذرها این گیاه کاهش یافت. نامبردگان بیان داشتند که درصد جوانه‌زنی بذرها این گیاه در پتانسیل صفر، $-0/4$ ، $-0/8$ و $-1/2$ مگاپاسکال به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰، ۹۶ و ۸۹ درصد بود. نتایج تحقیق ما نیز با یافته‌های مامدی و همکاران (Mamedi et al., 2017) همخوانی داشت؛ زیرا در مطالعه ایشان نیز

ریشه‌چه به‌اندازه یک میلی‌متر یا بیشتر بود (Ghaderifar et al., 2001; Soltani et al., 2009). لازم به ذکر است که در هر مرحله شمارش، بذرها جوانه‌زده از پتری دیش‌ها خارج شدند. شمارش تا زمانی ادامه یافت که برای سه روز متوالی جوانه‌زنی مشاهده نشود (Soltani et al., 2001; Ghaderifar et al., 2009).

برای بررسی واکنش جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های کینوا به تنش خشکی از مدل هیدروتایم با توابع مختلف از جمله تابع توزیع نرمال، لجستیک، ویبول و گامبل استفاده شد (Alimaghani et al., 2020; Sabouri et al., 2015; Ghaderifar and Sabouri, 2020). اساس پارامترهای آماری از قبیل ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و ضریب آکاییک مدل هیدروتایم بر اساس تابع لجستیک (رابطه ۱) برای برازش به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی بذرها کینوا در سطوح مختلف خشکی انتخاب شد:

$$g = 1 / \left(1 + \exp \left(- \left(\frac{(\psi - \frac{\theta H}{t_g}) - \psi_{b50}}{\sigma_{\psi b}} \right) \right) \right) \quad [1]$$

که در این رابطه، g درصد جوانه‌زنی تجمعی، (ψ) پتانسیل آب برحسب مگاپاسکال، t_g زمان موردنیاز برای جوانه‌زنی g درصد از بذرها (برحسب ساعت)، (θH) ضریب هیدروتایم برحسب مگاپاسکال ساعت، (ψ_{b50}) پتانسیل آب پایه برای ۵۰ آمین درصد جوانه‌زنی (برحسب مگاپاسکال) و $(\sigma_{\psi b})$ انحراف معیار توزیع پتانسیل پایه برای صدک‌های مختلف در جمعیت بذر است. برای استفاده از این مدل در هر ژنوتیپ، نسبت تجمعی جوانه‌زنی در هر دفعه شمارش از روی نتایج حاصل از شمارش روزانه بذرها جوانه‌زده به دست آمد. سپس مدل هیدروتایم بر اساس تابع لجستیک به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی برازش داده شد. پس از برازش مدل هیدروتایم به کلیه ژنوتیپ‌ها، ضرایب مدل برآورد شد. سپس برای بررسی پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و تعیین ژنوتیپ‌های حساس و مقاوم به خشکی از ضرایب این مدل که هر کدام دارای مفهوم بیولوژیک و قابل تفسیر است، استفاده شد.

کلیه تجزیه و تحلیل داده‌ها و برازش مدل هیدروتایم به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در نرم‌افزار آماری SAS 9.4 صورت گرفت.

نتایج و بحث

جدول ۲. میانگین مربعات حداکثر درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در سطوح مختلف پتانسیل آب

Table 2. Mean square of maximum germination percentage of different genotypes of quinoa at different water potential levels

Sources of variance	درجه آزادی منابع تغییر dF	میانگین مربعات Mean Square
ژنوتیپ	8	507**
Genotype (G)		
پتانسیل آب	5	47144**
Water potential (W)		
ژنوتیپ × پتانسیل آب	40	117**
G × W		
خطا	178	18.89
Error		

** : معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۱ درصد.

** : significance at 0.01%

میانگین درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها تا پتانسیل ۱/۲- مگاپاسکال بالا بود.

معرفی ژنوتیپ‌های متحمل و ارائه راهکارهای مدیریتی برای حداکثر کردن آب قابل‌دسترس، شرط افزایش عملکرد در شرایط کمبود آب است (Passioura, 2006). با توجه به اینکه مرحله جوانه‌زنی یکی از حساس‌ترین مراحل نسبت به تنش خشکی است، شناسایی ارقامی که در این مرحله، از توان مناسبی برای جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی برخوردارند، تضمین‌کننده درصد سبز شدن قابل‌قبول و حصول عملکرد بالا خواهد بود؛ اگرچه منابع نشان می‌دهد که توانایی تحمل تنش در مراحل مختلف زندگی یک گیاه متفاوت است (Chegni et al., 2015).

جدول ۳. حداکثر درصد جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در سطوح مختلف پتانسیل آب

3. Maximum percentage of germination of different Quinoa genotypes at different water potential levels Table

Genotype ژنوتیپ	Water potential (MPa) پتانسیل آب (مگاپاسکال)					
	0	-0.4	-0.8	-1.2	-1.6	-2
Titicaca	97 ^{abc}	94 ^{ab}	78 ^d	64 ^c	32 ^e	0
Red carina	94 ^c	98 ^a	87 ^c	64 ^c	45 ^d	3 ^{bc}
Gza1	95 ^{bc}	94 ^{ab}	92 ^{abc}	64 ^c	36 ^e	0
Q12	100 ^a	97 ^{ab}	89 ^{bc}	63 ^c	56 ^c	0
Q21	97 ^{abc}	97 ^{ab}	92 ^{abc}	81 ^a	74 ^a	7 ^{ab}
Q22	98 ^{ab}	93 ^b	89 ^{bc}	71 ^b	54 ^c	4 ^{abc}
Q26	100 ^a	98 ^a	94 ^{ab}	81 ^a	65 ^b	8 ^a
Q29	95 ^{bc}	95 ^{ab}	89 ^{bc}	64 ^c	51 ^{cd}	7 ^{ab}
Q31	99 ^a	98 ^a	95 ^a	71 ^b	56 ^c	0

حروف نشان‌دهنده معنی‌داری یا عدم معنی‌داری هر ژنوتیپ در سطوح مختلف پتانسیل آب است.

The letters indicate significant or non-significant of each genotype at different levels of water potential

(L. کزلا (*Brassica napus* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.) و گلرنگ (*Carthamus tinctorium* L.) آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقدار میانگین پتانسیل آب پایه برای آفتابگردان، جو، کزلا، گندم و گلرنگ به ترتیب ۱/۲۱-، ۱/۵۹-، ۰/۸۳-، ۱/۳۳- و ۱/۵۰- مگاپاسکال است. مقدار پتانسیل آب پایه به‌طور متوسط برای ژنوتیپ‌های مختلف کینوا ۱/۷۸- مگاپاسکال است که در مقایسه با پنج گیاه ذکرشده، منفی‌تر است. این امر نشان می‌دهد این گیاه در مقایسه با پنج محصولی که کشت دیم آن رواج بیشتری دارد، در مرحله جوانه‌زنی به خشکی متحمل‌تر است (Alimagham and Ghaderifar, 2015; Bradford and Still, 2004)؛ بنابراین با توجه به بحث

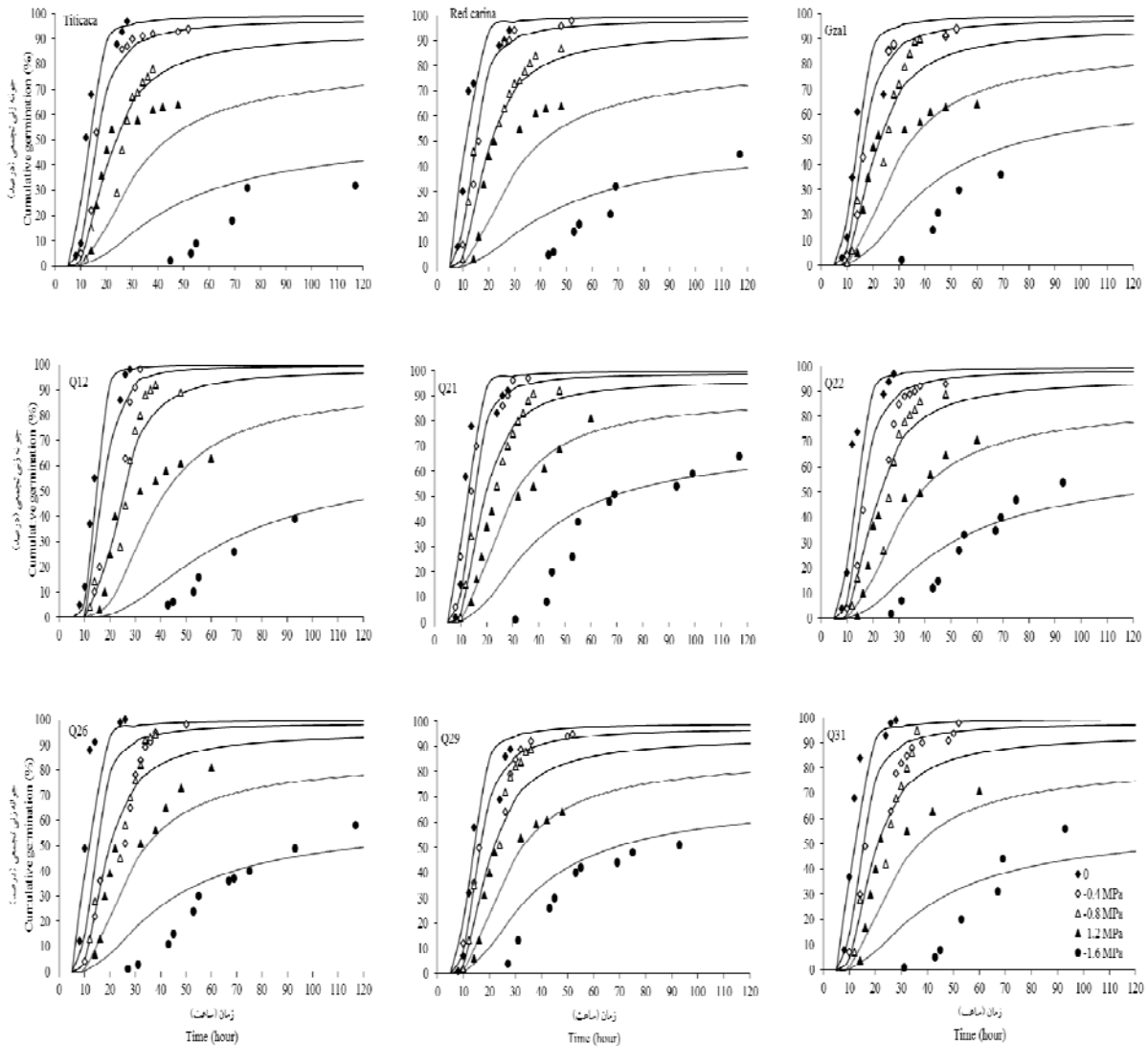
برازش مدل هیدروتایم به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در سطوح مختلف پتانسیل آب (شکل ۱) نشان داد که مدل هیدروتایم برازش قابل‌قبولی به داده‌های درصد جوانه‌زنی تجمعی در هر سطح پتانسیل آب داشت، به‌طوری‌که ضریب تبیین مدل بین ۰/۸۳ تا ۰/۹۱ درصد متغیر بود (جدول ۴). بین ژنوتیپ‌های مختلف کینوا از لحاظ پتانسیل آب پایه برای ۵۰ آمین درصد جوانه‌زنی (Ψ_{b50}) اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). مقدار عددی این پارامتر از ۱/۶۲- در ژنوتیپ ردکارینا تا ۱/۹۷- در ژنوتیپ کیو۲۹ در نوسان بود. در جدول (۵) مقادیر مربوط به پارامترهای مختلف مدل هیدروتایم در چند گیاه دیم از جمله آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، جو (*Hurdeum vulgare*)

عددی آن‌ها پایین‌تر باشد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی آن محموله یا ژنوتیپ بالاتر است و محموله بذری از قدرت بذر بالاتری برخوردار خواهد بود (Alimagham and Ghaderifar, 2015; Bradford and Still, 2004). هر چه سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی بالاتر باشد، سرعت استقرار بذرها در مزرعه بیشتر بوده و در نتیجه بسته شدن کانوپی سریع‌تر رخ می‌دهد. بسته شدن سریع‌تر کانوپی باعث دریافت تابش بیشتر و افزایش توانایی رقابت با علف‌های هرز در اوایل فصل رشد گیاه و به دنبال آن افزایش عملکرد می‌شود (Soltani et al., 2001; Soltani and Galeshi, 2002) همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود از لحاظ ضریب هیدروتایم بین ژنوتیپ‌های مختلف کینوا اختلاف معنی‌داری وجود داشت. کمترین و بیشترین ضریب هیدروتایم در ژنوتیپ‌های ردکارینا و کیو ۲۹ به ترتیب با ۱۷/۰۹ و ۲۵/۰۷ مگاپاسکال در ساعت (با میانگین ۲۱/۳۶ مگاپاسکال در ساعت) مشاهده شد. از لحاظ پارامتر سیگما نیز بین ژنوتیپ‌های مختلف کینوا اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بر اساس این پارامتر کمترین یکنواختی جوانه‌زنی در ژنوتیپ کیو ۲۹ (۰/۴۱ مگاپاسکال) و بیشترین آن در ژنوتیپ کیو ۱۲ (۰/۲۳ مگاپاسکال) مشاهده شد. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود ضریب هیدروتایم کینوا در مقایسه با کلزا، گندم و گلرنگ کمتر است؛ به عبارت دیگر سرعت جوانه‌زنی بذرها در این گیاه در مقایسه با گیاهان زراعی مذکور بیشتر است. علت این امر را شاید بتوان به اندازه بذر ارتباط داد (Steiner et al., 2019). وزن هزار دانه گندم، گلرنگ و کلزا به ترتیب ۴۵-۲۱، ۵۰-۳۰ و ۴/۵-۴ گرم است. در صورتی که وزن هزار دانه کینوا ۲/۵ گرم است. به‌طور کلی نتایج تحقیقات مختلف بیانگر این مطلب است که بذرها ریزتر به دلیل سرعت جذب بالاتر آب در مقایسه با بذرها درشت‌تر، سرعت جوانه‌زنی بیشتری دارند (Pereira et al., 2013; Hendrix, 1984; Moradi et al., 2013). از این رو شاید بتوان علت سرعت جوانه‌زنی بالای این گیاه در شرایط تنش خشکی را به اندازه بذر این گیاه ارتباط داد.

بحران آب در آینده و افزایش وسعت زمین‌هایی که با محدودیت آب مواجه هستند، برنامه‌ریزی جهت توسعه کشت کینوا منطقی است و در مناطقی که گیاهان آفتابگردان، جو، کلزا، گندم و گلرنگ به‌صورت دیم کشت می‌شود، می‌توان اقدام به کشت این گیاه کرد. سلطانی و فرزانه (Soltani and Farzaneh, 2014) و ربانی و همکاران (Rabani, Mohammadi et al., 2014) از پتانسیل آب به‌عنوان شاخصی از قدرت بذر پنبه و گندم استفاده کردند و بیان داشتند ارقامی که پتانسیل آب پایین‌تری (منفی‌تر) دارند، توانایی سبز شدن و تولید گیاهچه‌های قوی‌تری را تحت تنش خشکی خواهند داشت.

اگرچه نتایج تحقیقات مختلف حاکی از آن است که کینوا مکانیسم‌های مختلفی از جمله فرار، تحمل و جلوگیری از تنش خشکی دارد، اما در مراحل مختلف رشد به تنش آب واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهد (Jensen et al., 2000; Geerts et al., 2008; Sun et al., 2014). نتایج تحقیق گریتز و همکاران (Geerts et al., 2008) نشان داد که تنش خشکی در مرحله گلدهی و خمیری نرم، عملکرد دانه کینوا را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد؛ اما این تنش در مرحله پس از ظهور تا ۶ برگی و همچنین ۶ تا ۱۲ برگی اثری بر کاهش عملکرد ندارد. نتایج تحقیق ما نیز نشان داد که توانایی تحمل به تنش خشکی کینوا در مرحله جوانه‌زنی قابل‌توجه است؛ بنابراین از این نتایج می‌توان در تدوین برنامه‌هایی که به کاهش مصرف آب کینوا منتهی می‌شوند، بهره برد. به‌عنوان مثال می‌توان دفعات آبیاری را در مراحل اولیه رشد کینوا کاهش داد و سهم بیشتری را به مراحل گلدهی و بعداز آن تخصیص داد. در این راستا گریتز و همکاران (Geerts et al., 2008) نیز تأکید نمودند که باید از تنش آبی در دوره قبل از گلدهی، گلدهی و پر شدن دانه کینوا جلوگیری کرد و می‌توان با تنش آبی در دوره‌های اولیه بازده بالا و بازده مصرف زیاد آب را به دست آورد.

ضریب هیدروتایم و سیگما به‌عنوان شاخصی از سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی در نظر گرفته می‌شود و هر چه مقدار



شکل ۱. برازش مدل هیدروتایم با تابع لجستیک به داده‌های جوانه‌زنی تجمعی بذر ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در سطوح مختلف خشکی
 Fig.1. Fitting of hydrotime model with Logistic function to cumulative seed germination data of different Quinoa genotypes at different drought levels.

جدول ۴. پارامترهای برآورد شده توسط مدل هیدروتایم با تابع لجستیک برای ژنوتیپ‌های مختلف کینوا

Table 4. Parameters estimated by the hydrotime model with Logistic function for different Quinoa genotypes.

ژنوتیپ Genotype	ضریب هیدروتایم (مگا پاسکال در ساعت) hydrotime coefficient (θ_H) MPa. h	پتانسیل آب پایه برای ۵۰٪ درصد جوانه‌زنی (مگا پاسکال) base water potential for 50% germination ($\Psi_b(50)$) -MPa	سیگما (مگا پاسکال) sigma (σ_{Ψ_b})	ضریب تبیین R^2
Titicaca	20.05±1.61	-1.66±0.07	0.32±0.04	0.83
Red carina	17.09±1.12	-1.62±0.05	0.29±0.03	0.87
Gza1	24.44±1.95	-1.90±0.09	0.37±0.05	0.86
Q12	24.11±1.28	-1.77±0.05	0.23±0.03	0.88
Q21	21.74±0.93	-1.92±0.04	0.32±0.02	0.91
Q22	21.68±1.17	-1.77±0.05	0.31±0.02	0.91
Q26	18.97±1.29	-1.75±0.06	0.31±0.04	0.84
Q29	25.07±1.57	-1.97±0.07	0.41±0.04	0.88
Q31	19.13±1.32	-1.72±0.07	0.33±0.03	0.87

R^2 و SE به ترتیب بیانگر ضریب تبیین مدل و خطای معیار است.

R^2 and SE represent the model coefficient of determination and the standard error, respectively.

جدول ۵. پارامترهای مدل هیدروتایم برای آفتابگردان، جو، کلزا، گندم و گلرنگ بر اساس منابع مختلف.

Table 5. Hydrotime model parameters for sunflower, barley, canola, wheat and safflower based on different sources

گیاه Crop	پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه زنی (مگاپاسکال) base water potential for 50% germination ($\Psi_{b(50)}$) (MPa)			ضریب هیدروتایم (مگاپاسکال در ساعت) hydrotime coefficient (θ_H) (MPa. h)			سیگما (مگاپاسکال) sigma ($\sigma_{\psi b}$) (MPa)			منبع Reference
	حداقل Min	حداکثر max	میانگین average	حداقل min	حداکثر max	میانگین average	حداقل min	حداکثر max	میانگین average	
	آفتابگردان Sunflower	-0.632	-3.199	-1.208	-	-	-	-	-	
جو Barley	-1.343	-1.826	-1.591	-	-	-	-	-	-	Derakhshan and Gharineh. 2015
کلزا Canola	-0.23	-1.23	-0.814	22.76	50.93	32.617	0.326	0.801	0.497	Soltani et al.. 2017
کلزا Canola	-0.37	-1.32	-0.896	21.75	37.01	31.486	0.27	0.35	0.32	Tatari et al.. 2020
کلزا Canola	-0.22	-1.23	-0.783	22.76	50.93	33.008	0.326	0.892	0.517	Adeli et al.. 2017
گندم Wheat	-1.27	-1.39	-1.326	70.32	83.76	78.672	0.22	0.28	0.242	Singh et al.. 2013
گلرنگ Safflower	-1.3	-1.33	-1.315	35.02	37.57	36.295	0.23	0.26	0.245	Eslampour et al.. 2014
گلرنگ [†] Safflower [†]	-	-	-1.68	-	-	22.3	-	-	0.72	Ostadian Bidgoly et al.. 2018

[†] ضرایب هیدروتایم مربوط به دمای مطلوب (۲۰ درجه سانتی‌گراد) می باشد.

[†] Hydrotime coefficients are related to the desired temperature (20 ° C)

نتیجه‌گیری نهایی

سرعت جوانه‌زنی بالاتری نیز دارند و این امر شانس استقرار سریع‌تر کینوا در شرایط کمبود آب را افزایش می‌دهد. علاوه بر این ویژگی در افزایش قدرت رقابت این گیاه در مقابل علف‌های هرز و بهبود دریافت تابش خورشیدی و به دنبال آن افزایش عملکرد حائز اهمیت است. اگرچه لازم است تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت پذیرد. همچنین توانایی تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی، نیاز به مصرف آب در این مرحله را کمتر می‌کند که این امر می‌تواند در تدوین برنامه‌های مدیریتی که منجر به افزایش کارایی مصرف آب می‌شود، بسیار مهم و کاربردی باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که از لحاظ درصد جوانه‌زنی و ضرایب مدل هیدروتایم، بین ژنوتیپ‌های مختلف کینوا در پاسخ به تنش خشکی تنوع قابل توجهی وجود داشت که از آن می‌توان در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود. همچنین مقایسه ضرایب به-دست آمده از برازش مدل هیدروتایم کینوا در این مطالعه با منابع موجود روی گیاهان زراعی مهمی که در مناطق دیم کشت و کار می‌شوند، نشان داد که علاوه بر تحمل بیشتر کینوا به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی در مقایسه با سایر گیاهان زراعی مهم مناطق دیم، بذره‌های این گیاه

منابع

- Adeli, R., Soltani, A., Akbari, Gh.A., Ramshini, R., 2017. Assessment of seed germination on the response to water potential in different canola genotypes using hydrotime model. *Journal of Crops Improvement*. 19, 921-932. [In Persian with English Summary].
- Alimagham, S.M., Ghadri-Far, F., 2015. Hydrotime model: Introduction and application

- of this model in seed researches. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 7, 41-52.
- Alizadeh, P., Kamkar, B., Shattai, Sh., Kazemi, H., 2019. Spatial and temporal monitoring of agricultural drought in wheat cultivated lands using standardized precipitation index (Case study west of Golestan province). *Agricultural Ecology*. 3, 1084-1069. [In Persian with English Summary].
- Bazile, D., Baudron, F., 2015. The dynamics of the global expansion of quinoa growing in view of its high biodiversity. In: Bazile D., Bertero. H.D., Nieto. C. (eds.). *State of the art report on quinoa around the world in 2013*. Santiago du Chili: FAO, p. 42-55.
- Bradford, K.J., Still, D.W., 2004. Applications of hydrotim analysis in seed testing. *Seed Technology*. 26, 75-85.
- Chegni, H., Goldani, M., Shiranirad, A.H., Kafi, M., 2015. Effects of terminal drought stress on some biochemical and agronomic characteristics in some rapeseed lines (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*. 8, 29-41. [In Persian with English Summary].
- Derakhshan, A., Gharineh, M.H., 2015. Application of hydrotim concept to predict seedling emergence of spring barley varieties in field. *Iranian Journal of Seed Science and Research*. 2, 1-14. [In Persian with English Summary].
- Eslampour, F., Gharineh, M.H., Fathi, Gh.A., Derakhshan, A., 2014. Hydrotim modeling of seeds (*Carthamus tinctorius* L.) using Weibull distribution. 13th Iranian Crop Science Congress. Seed and Plant Improvement institute. Karaj. Iran .
- Furuya, J., Koyama, O., 2005. Impacts of climatic change on world agricultural product markets: estimation of macro yield functions. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 39, 121-134.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Taboada, C., 2008. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*. 28 (3), 427-436.
- Ghaderifar, F., Soltani, A., Sadeghipour, H., 2009. Evaluation of nonlinear regression models for quantification of paper seed germination (*Cucurbita pepo* L.) subsp. *Pepo*. *Convar. Pepo var. Styriaca* Greb), Brago (*Borago officinalis* L.) and Black Seed (*Nigella sativa* L.) to temperature. *Journal of Plant Production Research*. 4, 1-19. [In Persian with English Summary].
- Hamidi, S., 2020. Effects of environmental conditions on germination and emergence of different genotype of Quinoa. MSc. Thesis in Seed Science and Technology. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. [In Persian with English Summary].
- Hendrix, S.D., 1984. Variation in seed weight and its effects on germination in *Pastinaca sativa* L. (Umbelliferae). *American Journal of Botany*. 71, 795-802.
- Jamali, M., Ghaderifar, F., Sadeghipour, H.R., Soltani, A., Alimagham, S.M., 2016. Evaluation of germination of wheat seeds with different levels of seed strength using hydrotim model. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 10, 403-413. [In Persian with English Summary].
- Jensen, C.R., Jacobsen, S.E., Andersen, M.N., Nuñez, N., Andersen, S.D., Rasmussen, L., Mogensen, V.O., 2000. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European Journal of Agronomy*. 13, 11-25.
- Keshavarz, M., 2019. Addressing compatibility of the farm management strategies with climate change: the case of fars province. *Iran Agricultural Extension and Education Journal*. 14, 107-123. [In Persian with English Summary].
- Kiani Ghalehsard, S., Shahraki, J., Akbari, A., Sardar Shahrak, A., 2019. Impact of climate change on agricultural water use and water reserves of Iran. *Irrigation and Water Engineering*. 10, 109-120. [In Persian with English Summary].
- Larsen, S.T.L., 2009. Lack of fresh water throughout the world. *Evergreen State College* .
- Mamedi, A., Tavakkol Afshar, R., Sepahvand, N. A., 2017. Quantifying seed germination response of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under temperature and drought stress regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 48 (3), 615-623.

- Michel, B.E., Kaufmann, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*. 51, 914-916.
- Mirfazeli, M.S., Akbari, G.A., Ramshini, H.A., 2019. Evaluation of seedling emergence of basil (*Ocimum basilicum* L.) accessions under salinity and drought stresses. *Environmental Stresses in Crop Science*. 12 (2), 567-578.
- Momeni, A., 2016. An overview on the development potentials of aerobic rice cultivation in crisis conditions in Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 18, 179-195. [In Persian with English Summary].
- Moradi, R.A., Alizadeh, Y., Nezami, A., Eshghizadeh, H.R., 2013. The effect of seed size under drought stress conditions on germination and seedling growth characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 11, 377-389. [In Persian with English Summary].
- Nasehi, A., 2002. Population forecast of Iran until 1400 AH. 2002. The first chapter of the final report of the food security plan. Department of Agricultural Sciences, Academy of Sciences of the Islamic Republic of Iran. Pages, 1-7.
- Ostadian Bidgoly, R., Balouchi, H.R., Soltani, E., Moradi, A., 2018. Effect of temperature and water potential on *Carthamus tinctorius* L. seed germination: Quantification of the cardinal temperatures and modeling using hydrothermal time. *Industrial Crops and Products*. 113, 121-127.
- Passioura, J., 2006. Increasing crop productivity when water is scarce from breeding to field management. *Agricultural Water Management*. 80, 176-196.
- Pereira, W.A., Pereira, S.M.A., Dias, D.C.F.D.S., 2013. Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds and on early development of seedlings. *Journal of Seed Science*. 35, 316-322.
- Rabbani Mohammadi, R., Ghaderifar, F., Soltani, F., Sadeghipour, H., 2014. Application of hydrotime model in predicting emergence of wheat seed shipments. *Journal of Crop Production*. 17, 1-16. [In Persian with English Summary].
- Ray, D.K., West, P.C., Clark, M., Gerber, J.S., Prishchepov, A.V., Chatterjee, S., 2019. Climate change has likely already affected global food production. *PLoS ONE*. 14, e0217148.
- Saux, M., Bleys, B., André, T., Bailly, C., El-Maarouf-Bouteau, H., 2020. A correlative study of sunflower seed vigor components as related to genetic background. *Plants*. 9, 386.
- Shafii, B., Price, W.J., 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*. 6, 356-366.
- Shirazi, E., Fazeli-nasab, B., Ramshin, H.A., Fazel-Najaf-Abadi, M., Izadi-darbandi, A., 2016. Evaluation of drought tolerance in wheat genotypes under drought stress at germination stage. *Journal of Crop Breeding*. 8, 207-219.
- Singh, P., Hesham, M., Ibrahim, H.M., Flury, M., Schillinger, W.F., 2013. Critical water potentials for germination of wheat cultivars in the dryland Northwest USA. *Seed Science Research*. 23, 189-198.
- Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Vadez, V., Loon, M.P.V., Ittersum, M.K.V., 2020. Future food self-sufficiency in Iran: A model-based analysis. *Global Food Security*. 24, 100351.
- Soltani, A., Galeshi, S., 2002. Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate sub-humid environment: experimentation and simulation. *Field Crop Research*. 77, 17-30.
- Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S., Latifi, N., 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. *Seed Science and Technology*. 29, 653-662.
- Soltani, E., Adeli, R., Akbari, Gh.A., Ramshin, H., 2017. Application of hydrotime model to predict early vigor of rapeseed (*Brassica napus* L.) under abiotic stresses. *Acta Physiologiae Plantarum*. 39, 252.
- Soltani, E., Farzaneh, S., 2014. Hydrotime analysis for determination of seed vigor in cotton. *Seed Science and Technology*. 42, 260-273.
- Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S., Jacobsen, S.E., 2014. Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 200, 12-23.
- Tatari, S., Ghaderi-Far, F., Yamchi, A., Siahmarguee, A., Shayanfar, A., Baskin, C.C.,

2020. Application of the hydrotim model to assess seed priming effects on the germination of rapeseed (*Brassica napus* L.) in response to water stress. *Botany*. 98, 283–291.
- Tesfaye, K., Kruseman, G., Cairns, J.E., Zaman-Allah, M., Wegary, D., Zaidi, P.H., Erenstein, O., 2018. Potential benefits of drought and heat tolerance for adapting maize to climate change in tropical environments. *Climate Risk Management*. 19, 106-119.
- Victor José Mendes Cardoso, V.J.M., Bianconi, A., 2013. Hydrotim model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds to temperature and reduced water potential. *Acta Scientiarum Biological Sciences*. 35, 255-261.
- Windauer, L., Altuna, A., Benech-Arnold, R., 2007. Hydrotim analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Industrial Crops and Products*. 25, 70-74.
- World Water Assessment Programme (*Nations Unies*), The United Nations World Water Development Report 2018 (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, New York, United States) www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018/. (2018)
- Yazdi Samadi, B., 2017. Role of prospective technologies for food security in Iran and the world. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 2, 15-28.