

کمی سازی جوانه زنی بذر اکوتیپ های رازیانه به تنش اسمزی با استفاده از توزیع های مختلف آماری

سمانه کیانی^۱، قاسم پرمون^۲، سید امیر موسوی^{۳*}، سید عطاءالله سیادت^۴

۱. دانشجوی سابق دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲. دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی

۳. استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (نویسنده مسئول)

۴. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۴)

چکیده

به منظور کمی سازی جوانه زنی بذر اکوتیپ های رازیانه شامل سه اکوتیپ اصفهان، همدان و بوشهر به تنش اسمزی با غلظت های ۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ مگاپاسکال، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و در چهار تکرار صورت پذیرفت. داده های آزمایشی به منظور تحلیل عمیق تر توسط مدل هیدروتایم بر پایه توزیع های آماری مختلف تحلیل گردید. مقدار RMSE نشان داد که مدل های هیدروتایم مبتنی بر توزیع های آماری مختلف دارای برازش مناسبی به داده های جوانه زنی جمعی بذر اکوتیپ بوشهر در واکنش به کاهش پتانسیل آب بودند. نتایج نشان داد که مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع های نرمال و گامبل به ترتیب از بیشترین و کمترین دقت پیش بینی پتانسیل آب پایه در اکوتیپ همدان برخوردار بودند. همچنین مشخص شد که بین توزیع آماری برازش شده به مدل هیدروتایم از نظر مقدار میانگین پتانسیل آب پایه پیش بینی شده اختلاف معنی داری وجود دارد و بیشترین میانگین ۰/۴۱- مگاپاسکال از توزیع نرمال حاصل گردید. در اکوتیپ اصفهان، ثابت هیدروتایم توسط توزیع گامبل برابر ۸۹ مگاپاسکال ساعت برآورد گردید. همچنین تفاوت مقدار پارامتر مکان برآورد شده با مدل های هیدروتایم مبتنی بر توزیع های آماری مختلف معنی دار بود. به طوری که برآورد این پارامتر دامنه ای از ۱۹/۴۴- (توزیع ویبول) تا ۰/۵۷- (توزیع نرمال) را شامل بود.

واژه های کلیدی: رازیانه، هیدروتایم، گامبل، ویبول

Quantification of the seed germination of fennel ecotypes to osmotic stress using different statistical distributions

S. Kiani¹, Gh. Parmoon², S.A. Moosavi^{3*}, S.A. Siadat⁴

1. Former Ph.D Candidate of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

2. Ph.D Candidate of Agronomy, Department of Agronomy and Plant breeding, Mohaghegh Ardabili University

3. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

4. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

(Received: Nov. 06, 2018 – Accepted: Mar. 05, 2019)

Abstract

In order to quantify the seed germination responses of Fennel ecotypes including Esfahan, Hamadan and Booshehr to osmotic stress with concentrations of (0, -0.1, -0.2, -0.3, -0.4 and -0.5 MPa) a factorial experiment was conducted based on the completely randomized design with four replications. Experimental data were subjected to analysis with various statistical distributions to provide more reliable and robust explorations. RSME value of hydrotime model showed that data were well fitted for seed germination of Booshehr. The normal and Gumbel distributions were the best and the worst model to estimate hydrotime model parameters. It was also cleared that among statistical distributions fitted on hydrotime model, the highest base water potential was obtained from Normal distribution -0.41 MPa. For Esfahan ecotype, hydrotime constant was estimated about 89 MPa/hour using Gumbel distribution. There was significant variation in location parameters of various statistical distributions and it has a range of -19.44 (Weibull) to -0.57 (Normal Distributions).

Keywords: Fennel, Hydrotime, Gumble, Weibull

* Email: amirmoosavi@ramin.ac.ir

مقدمه

پتانسیل آب (مگاپاسکال)، ΘH ثابت هیدروتایم (مگاپاسکال ساعت) و tg ، زمان جوانه‌زنی (ساعت) است. از این مدل برای توصیف الگوی جوانه‌زنی بذرها در ارتباط با پتانسیل آب استفاده شده است و توان بالایی برای توصیف و کمی‌سازی پتانسیل آب بر روی جوانه‌زنی و سبز شدن دارد (Bradford., 2002; Larsen et al., 2004). پارامترهای مدل هیدروتایم می‌تواند برای تفکیک توده‌های بذری از نظر قدرت استفاده شود. به این ترتیب که پارامتر ضریب هیدروتایم معیاری از سرعت جوانه‌زنی است و پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی حاکی از قدرت بذر است که در توده‌هایی با قدرت بذر بالاتر مقادیر منفی تری خواهد داشت (Bradford and Still., 2004; Soltani and Farzaneh., 2014). در نتیجه می‌توان گفت ارقامی که پتانسیل پایه کمتری داشته باشند احتمالاً قدرت بذری بالاتری دارند و ارقامی که ضریب هیدروتایم آنها کمتر باشد سرعت جوانه‌زنی و استقرار سریع تری خواهد داشت. در ارزیابی مدل‌سازی هیدروتایم جوانه‌زنی سه علف‌هرز فالاریس، تاج خروس ریشه قرمز و تاج خروس خوابیده نتایج نشان داد که پارامترهای برآورد شده با مدل هیدروتایم توسعه یافته بر مبنای توزیع ویول از اطمینان بیشتری نسبت به سایر توزیع‌ها برخوردار بود (Derakhshan et al., 2014). در آزمایشی مسگران و همکاران (Mesgaran et al., 2013) نیز با مقایسه‌ی ۸ تابع توزیع احتمال دریافتند که توزیع پتانسیل آب پایه برای سه گونه از چهار گونه مورد بررسی آنها چوله به راست بوده و توزیع لوگ لجستیک را به عنوان مناسب‌ترین تابع معرفی کردند. با این وجود، ایشان در خصوص جوانه‌زنی *Raphanus raphanistrum* نیز گزارش دادند که توزیع پتانسیل آب پایه متقارن و تا حدودی چوله به چپ بود، مدل لوگ لجستیک از دقت پیش‌بینی بسیار کمی برخوردار بود. از تابع توزیع نرمال با میانگین $\psi b(50)$ و انحراف معیار $\sigma\psi b$ و به روش تجزیه پروبیت برای نشان دادن تنوع نسبی پتانسیل آب پایه در داخل بذرهایی یک

استفاده از داروهای شیمیایی باعث ایجاد اثر جانبی زیادی شده به طوری که در بعضی موارد آثار سوء و عوارض جانبی برخی از این داروها منجر به محدودیت مصرف آنها شده است. استفاده از گیاهان دارویی به دلیل سازگاری بیشتری با طبیعت مورد توجه زیادی قرار گرفته و جایگزین مناسبی برای داروهای شیمیایی هستند (Bagheri et al., 2008). رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) گیاهی از خانواده چتریان که اهمیت دارویی زیادی دارد (Telci et al., 2009). ترکیبات موجود در اسانس این گیاه در صنایع داروسازی به منظور درمان سرفه، دل درد، نفخ، سوء هاضمه‌ی کودکان و تحریک تولید شیر در مادران شیرده استفاده می‌شود. مقدار متوسط اسانس در دانه‌های این گیاه ۲ تا ۳ درصد می‌رسد و در آنها حدود ۱۸ تا ۲۰ درصد پروتئین نیز وجود دارد (Fathy et al., 2002). موفقیت و یا عدم موفقیت در تولید به عواملی مانند درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و تولید گیاهچه قوی وابسته است. بیشترین مقدار استقرار گیاهچه زمانی حاصل می‌شود که بذر بتواند بر شرایط نامطلوب محیطی چیره شده و واکنش مناسبی از خود نشان دهد (Meyer and Pendlton, 2000). جوانه‌زنی با جذب آب توسط بذر (آبنوشی) آغاز می‌شود و با ظهور محور جنینی (محور ریشه چه) از میان ساختارهای احاطه کننده آن به پایان می‌رسد (Bewley et al., 2013). محققان برای پیش‌بینی صحیح از جوانه‌زنی و استقرار گیاهان از مدل‌های ریاضی بهره می‌برند. یکی از این مدل‌ها که حساسیت جوانه‌زنی بذرها به تنش خشکی را تعیین می‌کند، مدل هیدروتایم است (معادله ۱).

$$\psi b(g) = \psi - \left(\frac{\Theta H}{tg}\right) \quad \text{معادله ۱}$$

در این مدل، $\psi b(g)$ پتانسیل آب پایه (مگاپاسکال)، ψ

جمعیت استفاده می شود (معادله ۲).

$$\psi b(g) = \psi b(50) + \text{probit}(g) \psi b6 \quad \text{معادله ۲}$$

با جایگزین نمودن سمت راست معادله شماره ۲ به جای $\psi b(g)$ در معادله ۳ و مرتب کردن معادله بر حسب پروبیت g ، معادله ریاضی مدل هیروتایم بر مبنای توزیع نرمال (معادله ۳) به دست می آید (Bradford., 1990).

$$\text{probit}(g) = \frac{\psi - \left(\frac{\theta H}{t_g}\right) - \psi b(50)}{\psi b6} \quad \text{معادله ۳}$$

با بدست آوردن پارامترهای مدل هیروتایم، منحنی زمان جوانه زنی را در هر پتانسیلی را می توان به منحنی جوانه زنی توده بذری در پتانسیل اسمزی صفر نرمال سازی نمود. برای این منظور، ارتباط میان زمان جوانه زنی در آب مقطر ($t_g(0)$) و زمان لازم برای جوانه زنی در هر پتانسیل اسمزی ($t_g(\psi)$) توسط مدل پیشنهاد شده توسط برادفور (Bradford 1990) محاسبه گردید.

$$t_g(0) = [\psi / \psi b(g)] t_g(\psi) \quad \text{معادله ۴}$$

$$t_g(\psi) = t_g(0) / [1 - (\psi / \psi b(g))] \quad \text{معادله ۵}$$

هنگامی $\psi=0$ مگاپاسکال باشد، آنگاه $\psi/\psi b(g)$ برابر صفر شده و انتظار خواهیم داشت که $t_g(0)=t_g(\psi)$ شود اما هنگامی که $\psi b(g)=\psi$ آنگاه $\psi/\psi b(g)=1$ و یا $t_g(\psi)$ به سمت بی نهایت میل می کند و جوانه زنی یا انجام نخواهد شد و با بسیار طولانی خواهد شد. در هر پتانسیلی بین صفر و $\psi b(g)$ مدت زمان لازم برای جوانه زنی در آن پتانسیل برابر مدت زمان جوانه زنی در آب مقطر باشد ضرب در فاکتور $1/[1 - (\psi / \psi b(g))]$ خواهد بود (Bradford 2002; Bradford and Still 2004). بنابراین با تشخیص پتانسیل پایه از کسر جوانه زنی امکان نرمال سازی منحنی زمان جوانه زنی برای هر پتانسیل اسمزی بر اساس جوانه زنی (معادله ۴) خواهد بود (Alvarado and Bradford 2002; Bradford 2002).

(Bradford 2002). در توزیع ویبول، توزیع تجمعی معکوس (Inverse cumulative distribution) برای پیش بینی $\psi b(g)$ (معادله ۶) و تابع توزیع تجمعی (Cumulative distribution function) برای پیش بینی درصد جوانه زنی g (معادله ۷) به شرح زیر است (Watt et al., 2010).

$$\psi b(g) = \mu + \sigma(-\ln(1-g))^{1/\lambda} \quad \text{معادله ۶}$$

$$g = 1 - \left(\exp\left(-\left(\frac{\psi - (\theta H / t_g) - \mu}{\sigma}\right)^\lambda\right)\right) \quad \text{معادله ۷}$$

که μ ، σ و g به ترتیب پارامترهای مکان، مقیاس و کسر جوانه زنی هستند. λ پارامتر شکل است، چنانچه مقدار λ بین $2/6$ تا $3/7$ باشد، توزیع ویبول تقریباً متقارن است و به توزیع نرمال نزدیک می باشد. زمانی که پارامتر شکل کوچکتر یا بزرگتر از این مقادیر باشد، توزیع ویبول به ترتیب چوله به راست یا چپ خواهد بود. توزیع گامبل را نیز می توان به شرح زیر در مدل هیروتایم به کار برد (Mesgaran et al., 2013).

$$\psi b(g) = \mu - \sigma \ln\left(\ln\left(\frac{1}{g}\right)\right) \quad \text{معادله ۸}$$

$$g = \exp\left(-\left(\exp\left(-\left(\frac{\psi - (\theta H / t_g) - \mu}{\sigma}\right)\right)\right)\right) \quad \text{معادله ۹}$$

با توجه به محدودیت منابع آبی و بارش در سال های اخیر و با توجه به موقعیت کشور در منطقه خشک، مواجه شدن با تنش خشکی در اکثر مراحل رشدی گیاهان اجتناب ناپذیر است. از این رو ممکن است که تنش خشکی آسیب هایی را نیز در مرحله جوانه زنی و استقرار رازیانه نیز داشته باشد. با توجه به اینکه رازیانه سرعت جوانه زنی و رشد اولیه بسیار کندی دارد، در نتیجه یافتن اکوتیپ هایی از رازیانه که بیشترین تحمل به تنش را در شرایط خشکی در مراحل جوانه زنی و سبز شدن داشته باشد الزامی به نظر

می‌رسد. از این جهت، هدف از این آزمایش شناسایی اکوتیپ متحمل به تنش خشکی با کمک مدل هیدروتایم بین سه اکوتیپ مختلف رازیانه بود.

PROC NLMIXED و به روش بهینه‌سازی پیش فرض Dual Quassi-Newton در این نرم‌افزار انجام شد (SAS، ۲۰۰۹). برای ارزیابی برازش مدل‌ها از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) شاخص آکاییک تصحیح شده (AICc)، معیار اطلاعات بیسین (BIC) و شاخص Δi نیز برای انتخاب بهترین تابع توزیع مورد استفاده قرار گرفت (Burnham and Anderson., 2002).

$$AIC = n \cdot \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2K \quad \text{معادله ۱۰}$$

$$AICc = n \cdot \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2K + \left(\frac{2K(K+1)}{n-K-1} \right) \quad \text{معادله ۱۱}$$

که RSS، جمع مربعات باقی مانده؛ n، تعداد نمونه و K، تعداد پارامترهای مدل مورد نظر می‌باشد.

$$BIC = -2 \log L_i + p_i \log n \quad \text{معادله ۱۲}$$

که در آن L_i و P_i احتمال و تعداد پارامترها برای هر مدل، و n تعداد مشاهدات است.

$$RMSE = 1 - \sqrt{\frac{SS_{\text{residual}}}{n - p - 1}} \quad \text{معادله ۱۳}$$

که در اینجا n تعداد نقاط داده، p تعداد پارامترهای مدل است و SS باقی مانده و مجموع مربعات باقی مانده از مدل رگرسیون است (Archontoulis and Miguez 2015).

$$\Delta i = AICc - \min AICc \quad \text{معادله ۱۴}$$

که در اینجا $\min AICc$ ، کمترین مقدار AICc محاسبه شده از بین مدل‌ها است و در واقع متعلق به مدلی است که بهترین برازش را نشان داده است. اگر $\Delta i < 10$ باشد به مفهوم عدم اختلاف در برازش مدل‌هاست و مدل با AICc بزرگتر نیز برازش خوبی ارائه خواهد داد و نشان خواهد داد که مدل انتخاب شده، مدل مناسب است. در صورتی که $\Delta i > 10$ باشد AICc مدل بزرگتر و در نتیجه، مدل مورد بررسی

به منظور کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر اکوتیپ‌های ایرانی گیاه رازیانه شامل سه اکوتیپ اصفهان، همدان و بوشهر به تنش اسمزی با غلظت‌های ۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵، مگاپاسکال، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در بهار سال ۱۳۹۷ با چهار تکرار صورت پذیرفت و سپس داده‌های آزمایشی به منظور تحلیل عمیق‌تر توسط مدل هیدروتایم بر پایه توضیح‌های آماری مختلف تحلیل گردید. محل انجام آزمایش، آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بود. محلول‌های اسمزی مورد استفاده در این پژوهش، پلی اتیلن گلاکول ۶۰۰۰ ساخت شرکت مرک آلمان بود که براساس معادله‌ی میچل (Michel., 1983) محاسبه و تهیه شدند.

مواد و روش‌ها

آزمون جوانه‌زنی هر سه اکوتیپ، در دمای ثابت ۲۰ درجه و در شرایط تاریکی انجام شد (Tobe et al., 2000). در هر پتری‌دیش ۲۵ عدد بذر قرار گرفت و هر پتری بسته به نوع تیمار با آب مقطر و محلول‌های اسمزی مورد نظر تیمار شدند. برای کاهش تلفات آب به صورت تبخیر، پتری‌دیش‌ها را با پارافیلیم پوشانده و در صورت نیاز در طی اجرای آزمایش آبیاری پتری‌دیش‌ها انجام شد. بذوری که به اندازه‌ی ۲ میلی‌متر خروج ریشه‌چه داشتند به عنوان جوانه‌زده در نظر گرفته شدند. شمارش بذور جوانه زده به صورت روزانه به مدت ۲۱ روز انجام شد. برای توصیف اثر کاهش پتانسیل آب بر جوانه‌زنی از مدل هیدروتایم (معادله ۱) استفاده گردید (Gummerson., 1986; Bradford, 1990).

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و با رویه

مناسب نبوده و برازش خوبی ارائه نخواهد داد (Burnham and Anderson., 2002).

نتایج و بحث

نتایج مدل های هیدروتایم برازش داده شده به داده های جوانه زنی تجمعی اکوتیپ های رازیانه و نیز توزیع های نرمال، گامبل و ویبول در جدول یک ارائه شده است. شکل ۱ و ۲ نیز نتیجه برازش مدل هیدروتایم به اکوتیپ های رازیانه به صورت ۲ بعدی و ۳ بعدی را نشان می دهد. با توجه به پارامترهای برآورد شده از مدل مشاهده می شود که مدل توانسته است توصیف مطلوبی از جوانه زنی اکوتیپ ها در پتانسیل های مختلف آب ارائه دهد. در خصوص اکوتیپ همدان، مقدار ریشه میانگین مربعات (RMSE) نشان داد که از نظر برازش مدل ها اختلافی بین مدل های هیدروتایم مبتنی بر سه توزیع آماری مورد بررسی وجود نداشت (جدول ۱). سه مدل مورد ارزیابی از نظر دقت برآورد پارامترها متفاوت بودند، به گونه ای که مقادیر شاخص آکاییک تصحیح شده متعلق به این مدل ها دارای دامنه ای از ۲۹۳/۳- (توزیع گامبل) تا ۲۹۵/۶- (توزیع نرمال) بود (جدول ۱). بر این اساس مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع های نرمال و گامبل به ترتیب از بیشترین و کمترین دقت پیش بینی پتانسیل آب پایه در اکوتیپ همدان برخوردار بودند (جدول ۱). در اکوتیپ همدان در هر سه مدل، ثابت هیدروتایم مورد نیاز برای تکمیل جوانه زنی بذر تقریباً ثابت و در حدود ۸۹ مگاپاسکال ساعت بود (جدول ۱). اما پارامترهای مکان و مقیاس برآورد شده با مدل های هیدروتایم مبتنی بر توزیع های آماری مختلف به طور معنی داری متفاوت از هم بودند. عادل و همکاران (Adeli et al., 2017) نیز دریافتند که پتانسیل پایه آب برای لاین کرج ۱ و رقم اپرا به ترتیب ۱/۲۳- و ۱/۲- (مگاپاسکال ساعت) بود که نسبت به بقیه ژنوتیپ های کلزا کمتر بود و نشان دهنده تحمل بیشتر به خشکی در این دو ژنوتیپ بود.

توزیع نرمال (شرط مساوی بودن مقادیر میانگین، میانه و مد) و پارامتر مکان در مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع نرمال بیان گر $\Psi b(50)$ است که ۰/۴۱- مگاپاسکال برآورد شده است. همچنین مثبت ترین مقادیر پیش بینی شده برای پتانسیل آب پایه مربوط به مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع گامبل (۰/۳۳- مگاپاسکال) بود (جدول ۱).

چگالی احتمال پتانسیل آب پایه پیش بینی شده با مدل های هیدروتایم مبتنی بر توزیع های آماری مورد استفاده در شکل ۳ نشان داده شده است. توابع توزیع احتمالی که $\Psi b(0)$ را برآورد می کنند، در واقع آستانه ای برای پتانسیل آب پایه یک نمونه بذری از آن جمعیت تعیین می نمایند که جوانه زنی بذرها از پتانسیل های مثبت تر از آن آغاز می شود (Bradford and Still., 2004). به گونه ای که بذرها یک جمعیت که دارای منفی ترین پتانسیل آب پایه باشند سریع تر جوانه دار می شوند و به دنبال آن بذرها با پتانسیل آب مثبت تر جوانه زنی خواهد داشت (Watt et al., 2010). علاوه بر این جمعیت بذری در پتانسیل های آب پایه بیشتر از صفر فاقد جوانه زنی است و در واقع وجود کمون در بخشی از جمعیت بذری را نشان می دهد (Derakhshan et al., 2014).

بین مدل های هیدروتایم از نظر مقدار میانگین پتانسیل آب پایه پیش بینی شده اختلاف معنی داری مشاهده شد و بیشترین میانگین ۰/۴۱- مگاپاسکال از توزیع نرمال حاصل گردید. علاوه بر این مدل های هیدروتایم از نظر برآورد مقدار میانه پتانسیل آب پایه متفاوت نبودند. همچنین میزان آماره مد یا نقطه اوج چگالی احتمال پتانسیل آب پایه بین هر سه توزیع تفاوت معنی داری داشت (جدول ۱ و شکل ۳).

ویژگی های توزیع آماری مورد استفاده در مدل های هیدروتایم جوانه زنی اکوتیپ اصفهان و پارامترهای برآورد شده ی آن در جدول ۱ ارائه شده است. همه ی مدل های هیدروتایم دارای برازش مناسبی به داده های جوانه زنی تجمعی اکوتیپ اصفهان در پتانسیل های مختلف آب بودند ($RMSE > 10\%$ درصد). نتایج بدست آمده نشان داد

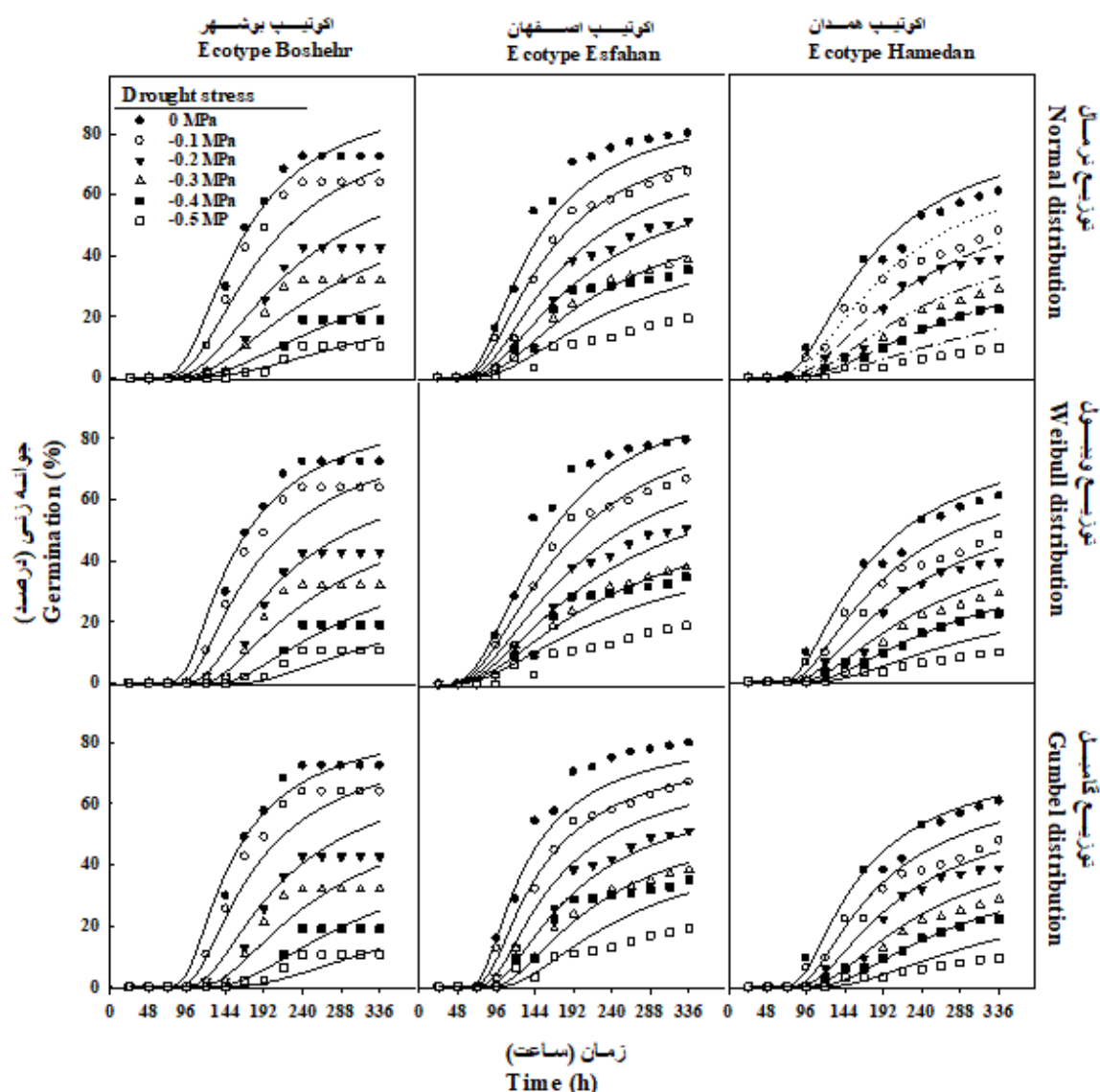
نشان دهنده‌ی تسریع در جوانه‌زنی است. آزمایش انجام شده بر روی چهار توده کلم بروکلی که با مدل هیدروتایم ارزیابی شد نشان داد که توده‌های با ضریب هیدروتایم بزرگتر و پتانسیل آب پایه مثبت‌تر، به عنوان توده‌های ضعیف شناخته می‌شوند (Bradford and Still., 2004). همچنین در آزمایشی روی ۴۰ توده بذر پنبه مشخص گردید که تنوع زیادی بین توده‌ها از نظر پارامترهای مدل وجود دارد. در بین این پارامترهای مدل بیشترین همبستگی بین پتانسیل پایه و قدرت بذر وجود داشت، بر این اساس معیاری برای تعیین قدرت بذر با کمک مدل هیدروتایم ارائه شد (Soltani and Farzaneh., 2014).

که مدل‌ها از نظر دقت برآورد پارامترها و در نتیجه پیش‌بینی پتانسیل آب پایه متفاوت بودند و مقادیر متفاوت ضریب آکاییک برای این توزیع‌های آماری به دست آمد. بیشترین دقت پیش‌بینی پتانسیل آب پایه مربوط به مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع نرمال بود به طوری که کمترین مقدار AICc (۱۴۴/۲-) را به خود اختصاص داد. مدل‌های گامبل و ویبول به ترتیب پس از مدل نرمال پیش‌بینی بهتری را داشتند (جدول ۱). ثابت هیدروتایم (OH) مورد نیاز برای جوانه‌زنی اکوتیپ اصفهان تحت تأثیر پتانسیل‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری بود به طوری که در توزیع گامبل کمترین ضریب هیدروتایم (۸۹ مگاپاسکال ساعت) به دست آمد که

جدول ۱- پارامترهای تعیین دقت مدل توزیع مدل‌های مختلف و ویژگی‌های آماری مورد استفاده در مدل‌های هیدروتایم جوانه‌زنی اکوتیپ‌های مختلف رازیانه.

Table 1- Parameter estimates, measure of goodness of fit and properties of statistical distributions used in the hydrottime models for germination of fennel

پارامتر Parameters	همدان Hamedan			اصفهان Esfahan			بوشهر Bushehr		
	ویبول Weibull	نرمال Normal	گامبل Gumbel	ویبول Weibull	نرمال Normal	گامبل Gumbel	ویبول Weibull	نرمال Normal	گامبل Gumbel
ضریب هیدروتایم Hydrottime (OH)	89.00±5.09	89.64±5.21	89.55±5.03	94.99±11.41	92.10±10.36	89.39±9.73	79.83±3.49	78.93±3.75	80.03±3.45
پارامترهای توزیع Distribution parameters									
Location (μ)	-1.36±0.18	-0.41±0.02	-0.54±0.022	-19.44±0.00	-0.57±0.04	-0.71±0.05	-0.99±0.07	-0.45±0.02	-0.56±0.02
Scale (σ)	1.07±0.17	0.36±0.02	0.37±0.016	18.99±0.00	0.39±0.03	0.37±0.04	0.62±0.06	0.25±0.01	0.25±0.01
Shape (λ)	2.93±0.69	-	-	58.64±0.00	-	-	2.18±0.35	-	-
پارامترهای جمعیت Distribution properties									
میانگین Mean	-0.40±0.03	-0.41±0.02	-0.33±0.021	-0.64±0.05	-0.57±0.04	-0.50±0.04	-0.44±0.02	-0.45±0.02	-0.42±0.02
میانه Median	-0.41±0.02	-0.41±0.02	-0.41±0.021	-0.57±0.05	-0.57±0.04	-0.57±0.05	-0.46±0.02	-0.45±0.02	-0.47±0.02
مدل Mode	-1.11±0.17	-0.41±0.02	-0.54±0.022	-19.13±0.00	-0.57±0.04	-0.71±0.05	-0.84±0.05	-0.45±0.02	-0.56±0.02
ضرایب تخمین Estimated Coefficient									
RMSE	0.039	0.040	0.040	0.10	0.10	0.097	0.042	0.043	0.042
AIC	-294.7	-296.1	-294.1	-138.5	-144.8	-142.9	-285.2	-280.3	-285.8
AICc	-294.0	-295.6	-293.3	-137.7	-144.2	-142.1	-284.4	-279.8	-285.1
BIC	-282.6	-286.3	-281.9	-126.3	-135.0	-130.7	-273.0	-270.6	-273.7
Δ_i	1.60	-	2.30	157.90	151.40	153.50	11.20	15.80	10.50



شکل ۱- جوانه زنی تجمعی بذرهای اکوتیپ های مختلف رازیانه در پتانسیل آب مختلف و دوره زمانی جوانه زنی پیش بینی شده هیدروتایم بر مبنای توزیع های نرمال، ویبول و گامبل.

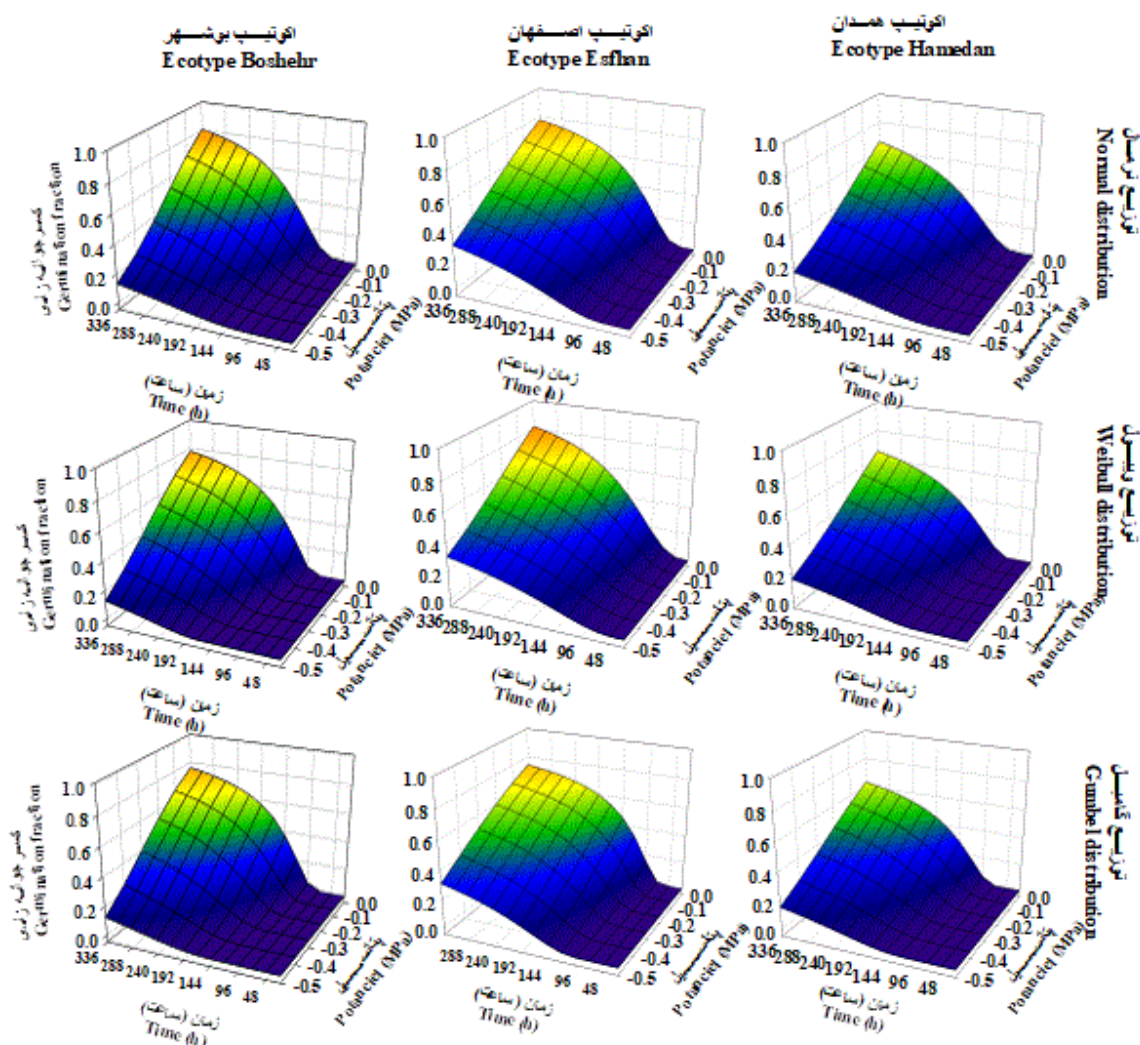
Fig. 1- Cumulative germination of fennel ecotypes at various osmotic potentials and predicted germination time course based on Normal, Weibull and Gumbel distributions.

داشتند، درحالی که مقادیر برآورد شده برای میانه پتانسیل آب پایه ثابت بود (جدول ۱). چگالی احتمال پتانسیل آب پایه پیش بینی شده با مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع های آماری مورد استفاده برای توصیف جوانه زنی اکوتیپ اصفهان تحت اثر پتانسیل های مختلف آب برای هر توزیع در شکل ۳ نشان داده شده است.

همچنین تفاوت مقدار پارامتر مکان برآورد شده با مدل های هیدروتایم مبتنی بر توزیع های آماری مختلف معنی دار بود. به طوری که برآورد این پارامتر دامنه ای از ۱۹/۴۴- (توزیع ویبول) تا ۰/۵۷- (توزیع نرمال) را شامل بود (جدول ۱). همچنین مدل های هیدروتایم از نظر برآورد میانگین و آماره مد پتانسیل آب پایه اختلاف معنی داری

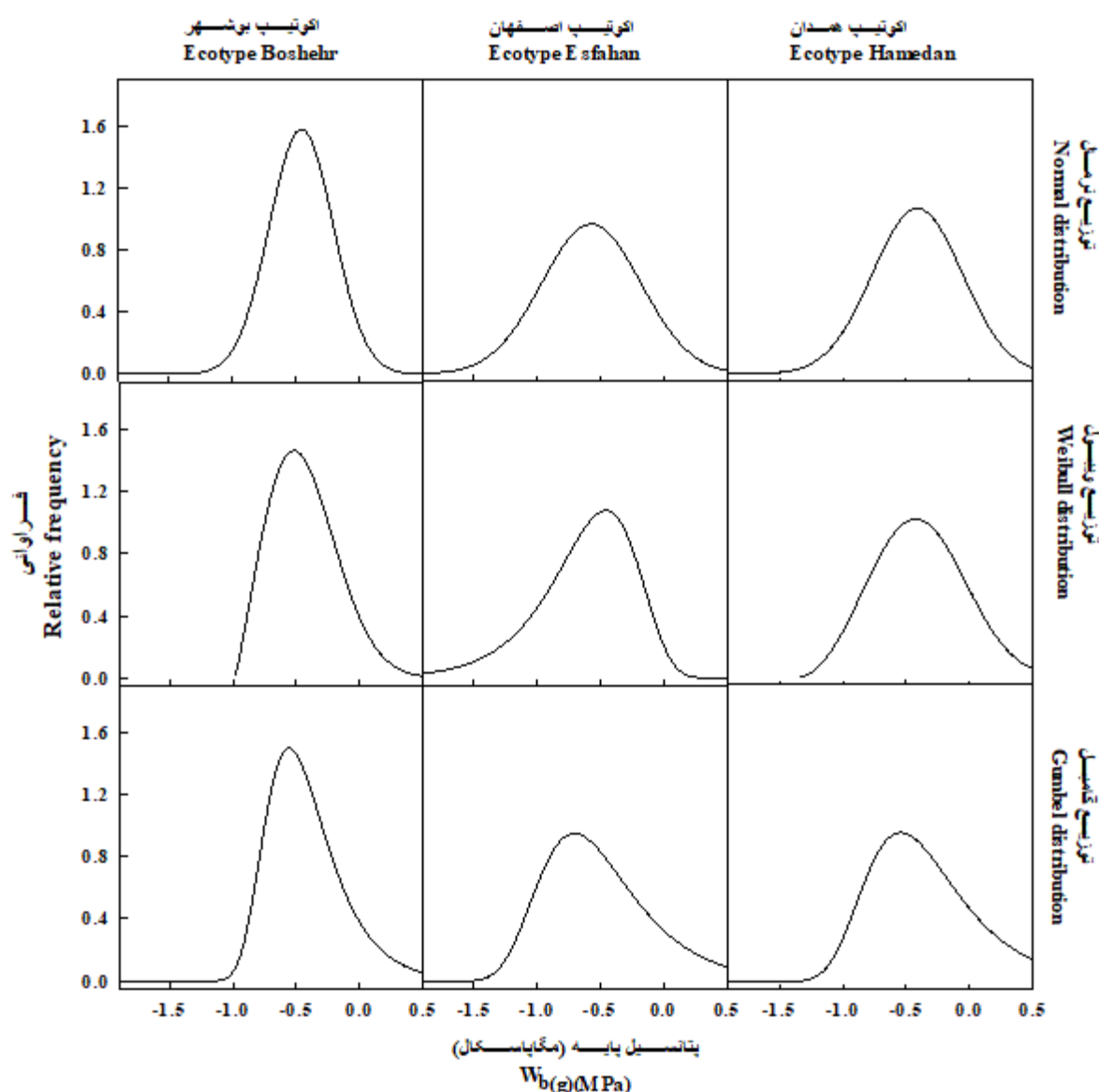
برای همه مدل‌های هیدروتایم در حدود ۴ درصد برآورد شد (جدول ۱). با این حال، مقادیر AICc حاکی از تفاوت مدل‌های هیدروتایم از نظر پیش‌بینی جوانه‌زنی اکوتیپ بوشهر در پاسخ به کاهش پتانسیل آب بود (جدول ۱). مقادیر AICc نشان داد که توزیع گامبل با کمترین مقدار AICc (۲۸۵/۱-) بیشترین دقت پیش‌بینی پتانسیل آب پایه را به خود اختصاص داد. پس از این توزیع نیز توزیع‌های ویبول و نرمال قرار گرفتند.

چولگی به چپ توزیع پتانسیل آب پایه به خوبی در شکل قابل مشاهده است ($\lambda=58/64 > 3/7$) (شکل ۳). برآورد پارامترهای مربوط به مدل‌های هیدروتایم جوانه‌زنی اکوتیپ بوشهر و نیز ویژگی‌های توزیع‌های آماری مورد استفاده در این مدل‌ها در جدول یک ارائه شده است. مقدار RMSE نشان داد که مدل‌های هیدروتایم مبتنی بر توزیع‌های آماری مختلف دارای برازش مناسبی به داده‌های جوانه‌زنی تجمعی بذور اکوتیپ بوشهر در واکنش به کاهش پتانسیل آب بودند، به طوری که مقدار RMSE



شکل ۲- نمودار سه بعدی کسر جوانه‌زنی تجمعی بذرهای اکوتیپ‌های مختلف رازیانه در پتانسیل آب مختلف و دوره زمانی جوانه‌زنی پیش‌بینی شده هیدروتایم بر مبنای توزیع‌های نرمال، ویبول و گامبل.

Fig. 2- 3D plot of cumulative germination of fennel ecotypes at various osmotic potentials and predicted germination time course based on Normal, Weibull and Gumbel distributions.



شکل ۳- تابع توزیع احتمال پتانسیل آب پایه پیش بینی شده با مدل هیدروتایم توسعه یافته بر مبنای توزیع های مختلف برای اکوتیپ های مختلف رازیانه.
 Fig. 3- Probability distribution function of the predicted base water potential for the hydrotime model based on the different distribution for ecotypes fennel.

داد که کمترین ضریب هیدروتایم در ارقام زرفام و طلایه کلزا مشاهده شد که به ترتیب ۲۲/۶۷ و ۲۳/۷۳ مگاپاسکال ساعت بود و بیشترین مقادیر ضریب مربوط به لاین ۳۸۹ و رقم اپرا به ترتیب ۵۰/۹۳ و ۴۸/۰۷ بود که بیانگر کمترین سرعت جوانه زنی بین ژنوتیپ ها بود (Adeli et al., 2017). بین مدل های هیدروتایم از نظر برآورد مقدار میانگین، میانه و مد پتانسیل آب پایه اختلاف معنی داری وجود

مشابه اکوتیپ همدان نیز اختلاف معنی داری میان مدل های هیدروتایم مبتنی بر توزیع های آماری مختلف از نظر برآورد ثابت هیدروتایم مورد نیاز برای تکمیل جوانه زنی اکوتیپ بوشهر وجود نداشت. با این حال مقدار پارامتر مکان برآورد شده با مدل های هیدروتایم معنی دار بود و دامنه ای از ۰/۴۵- (توزیع نرمال) تا ۰/۹۹- (توزیع ویبول) را شامل بود (جدول ۱). نتایج آزمایشی نیز نشان

توضیح نرمال بوده و استفاده از تجزیه پروبیت می تواند در کمی سازی پاسخ جوانه زنی به پتانسیل های مختلف آبی بکاربرده شود. تجزیه پروبیت داده های آزمایشی توصیفی جامع و خطی از روند تغییرات جوانه زنی در برابر پتانسیل های مورد بررسی ارائه نمود. با افزایش پتانسیل اسمزی آب، پروبیت جوانه زنی به صورت قابل توجهی کاهش پیدا کرد. در اکوتیپ بوشهر بر اساس توضیح نرمال، پروبیت جوانه زنی ۳- در غلظت ۰/۵- مگاپاسکال بدست آمد در حالی که در حالی که در پتانسیل ۰/۱- مگاپاسکال پروبیت نزدیک به صفر محاسبه شد. پروبیت های محاسبه شده برای اکوتیپ اصفهان و همدان در تنش های اسمزی بالا تر از ۰/۲- مگاپاسکال کمتر از اکوتیپ بوشهر بود (شکل ۴). جهت تقعر منحنی توضیح ویبول در اکوتیپ اصفهان بر خلاف جهت اکوتیپ های بوشهر و همدان بود. در توضیح ویبول، پروبیت محاسبه برای تنش ۰/۵ مگاپاسکال، زیر ۳- بدست آمد در حالی که در دو اکوتیپ اصفهان و همدان به ترتیب، ۱/۵- و ۲- بود. توضیح گامبل نشان می دهد که مقدار پروبیت جوانه زنی اکوتیپ بوشهر در پتانسیل ۰/۵- مگاپاسکال به سمت ۱- میل می کند در حالی که در دو اکوتیپ دیگر پروبیت جوانه زنی مقادیر بالاتر از ۱- را اختیار می کند (شکل ۴). مدل جوانه زنی بذور اکوتیپ های رازیانه در سطوح تنش اسمزی بر اساس زمان نرمال شده در برابر غلظت و نیز رابطه بین جوانه زنی و پتانسیل آب واقعی و پیش بینی شده با استفاده از مدل هیدروتایم مبتنی بر سه توزیع نرمال، ویبول و گامبل در شکل ۵ نشان داده شده است (شکل ۵). چنانچه دوره های زمانی جوانه زنی در پتانسیل های آب مختلف پیش بینی شده منطبق بر هم باشند، بدیهی است که مدل به درستی الگوهای جوانه زنی مشاهده شده را توضیح می دهد (Bradford., 2002). از این رو تطابق زمانی جوانه زنی و نیز رابطه بین جوانه زنی و پتانسیل آب واقعی و پیش بینی شده حاکی از آن است که مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع نرمال در دو اکوتیپ اصفهان و همدان جوانه زنی

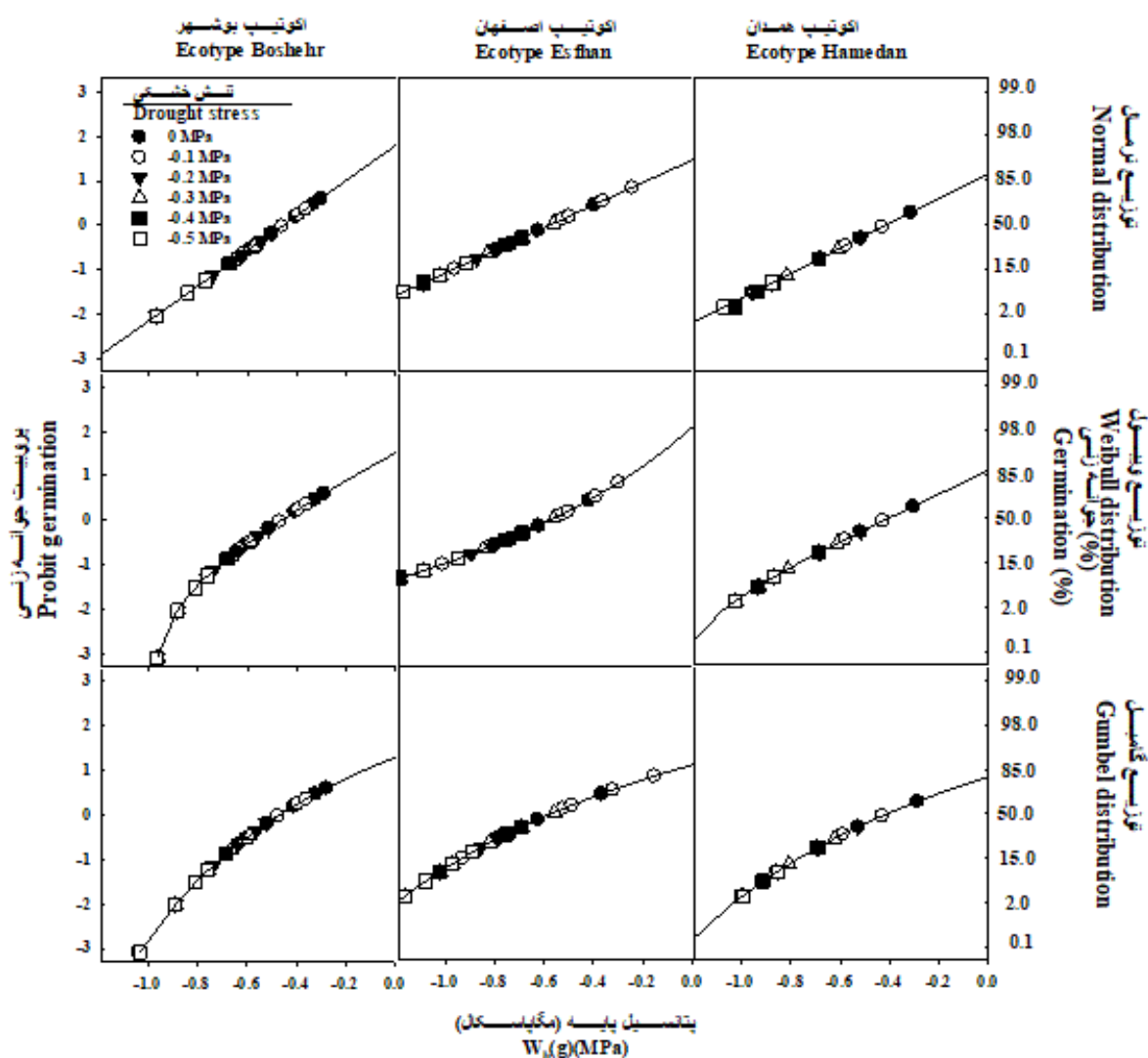
داشت. چگالی احتمال پتانسیل آب پایه پیش بینی شده با مدل های هیدروتایم مبتنی بر توزیع های آماری مورد استفاده در شکل ۳ نشان داده شده است. توزیع پتانسیل آب پایه جوانه زنی اکوتیپ بوشهر تا حدودی دارای چولگی به راست بوده که پارامتر شکل در توزیع ویبول ($\lambda = 2/18 < 2/6$) مؤید این واقعیت است. هر چند تجزیه هیدروتایم یک روش تجربی است، اما خروجی های این مدل از نظر فیزیولوژیکی و اکولوژیکی معنی دار می باشند (Alvarado and Bradford., 2002; Allen, 2003). تجزیه هیدروتایم اطلاعاتی در خصوص چند شاخص مهم کیفیت بذر از جمله آستانه تحمل تنش خشکی ($\Psi b(50)$)، سرعت (معکوس ثابت هیدروتایم) و یکنواختی جوانه زنی در اختیار قرار می دهد (Bradford., 2002; Bradford and Still., 2004).

مقدار برآورد شده برای پارامتر شکل توزیع ویبول برای اکوتیپ های همدان، اصفهان و بوشهر به ترتیب معادل ۲/۹۳، ۵۸/۶۴ و ۲/۱۸ بود که حاکی از آن است که چولگی به راست اکوتیپ بوشهر بیشتر از اکوتیپ همدان است. وات و همکاران (Watt et al., 2011) دریافتند که پتانسیل آب پایه در اغلب موارد چوله به راست بوده و از این رو در مورد بسیاری از گونه های گیاهی توزیع مناسب تری نسبت به توزیع متقارن نرمال جهت پیش بینی جوانه زنی مورد نیاز است. چولگی به راست به این معنی است که بخش اعظم بذرهای یک جمعیت بذری دارای مقادیر پتانسیل آب پایه مثبت تری می باشند و از این رو حتی تحت شرایط مطلوب نیز به کندی جوانه خواهد زد. وات و همکاران (Watt et al., 2010) با مقایسه دو تابع احتمال نرمال و ویبول نشان دادند که مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع ویبول از دقت بیشتری نسبت به مدل مبتنی بر توزیع نرمال جهت پیش بینی جوانه زنی دو گونه *Buddleja davidii* و *Pinus radiata* برخوردار بود.

برادفورد و همکاران (Bradford et al., 2002)، گزارش کردند که پتانسیل آب پایه برای جوانه زنی تابع

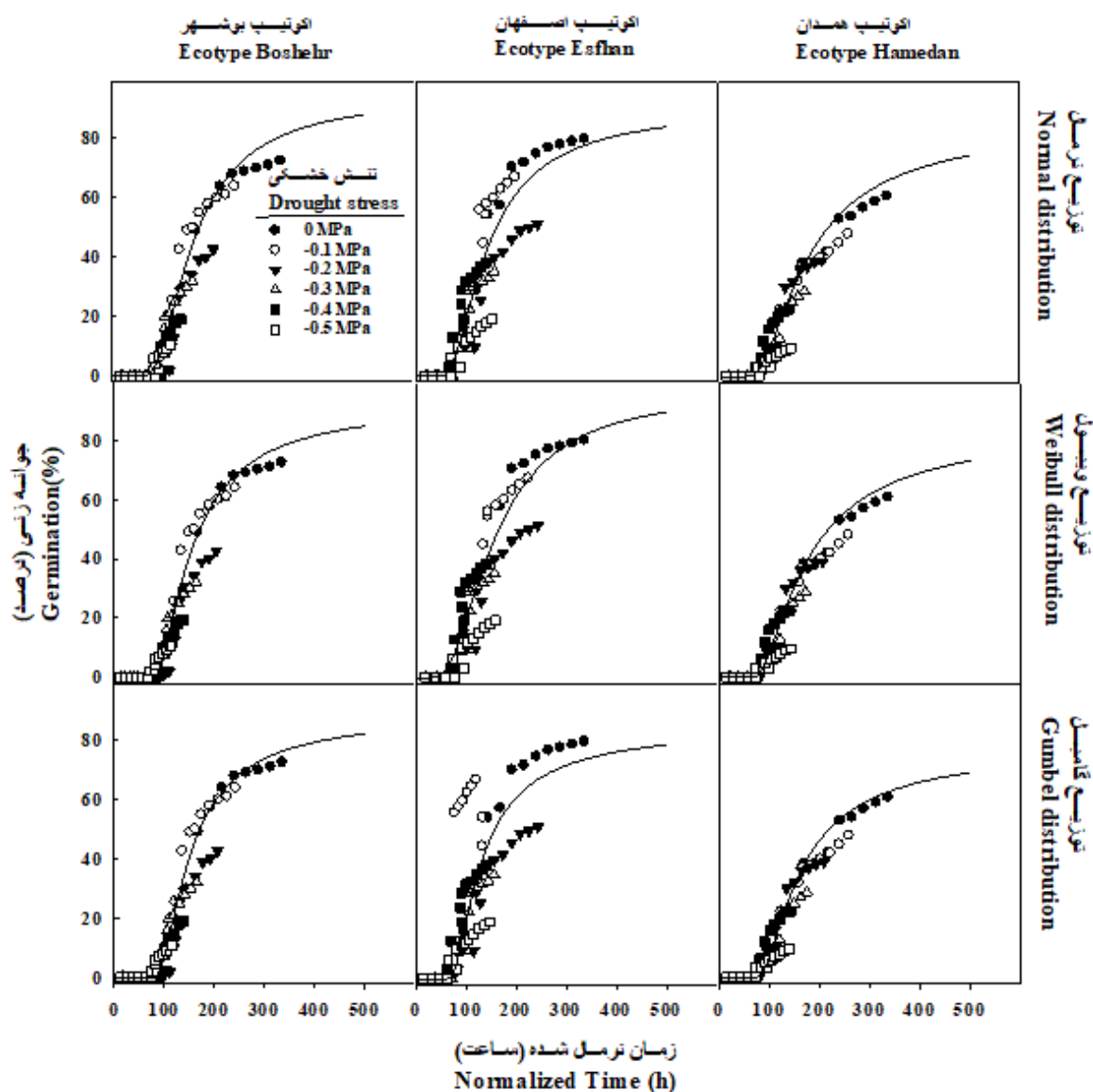
بدست آمده در شرایط تنش اسمزی فراتر از ۰/۲- مگاپاسکال بود. در اکوتیپ اصفهان، توزیع ویبول برآورد بهتری از زمان نرمال شده در مقایسه با سایر تیمارها ایجاد نمود.

بهتری را توضیح می دهد. نتایج نشان می دهد که در هر سه نوع توزیع خروجی زمان نرمال شده برای اکوتیپ همدان به خوبی برآورد گردیده است و درصد و سرعت جوانه زنی در پتانسیل های نزدیک به صفر به به مراتب بیشتر از مقادیر



شکل ۴- درصد جوانه زنی و پروبیت کسرهای جوانه زنی اکوتیپ های رازیانه در پتانسیل های مختلف در توزیع های مختلف

Fig. 4- Seed germination percentage and probity analysis of seed germination as functions of water potential (Ψ) for ecotypes fennel by various distribution.



شکل ۵- دوره زمانی نرمالیز شده اکوتیپ رازیانه در پتانسیل‌های آب نسبت به دوره زمانی متناظر در آب بر اساس پارامترهای مدل هیدروتایم در توزیع‌های مختلف.

Fig. 5- Normalization of germination time courses of ecotypes fennel at a range of water potentials to the corresponding time courses in water based on the used hydrotime models at different distributions.

را شناسایی کرد. نتایج نشان داد که در خصوص دو اکوتیپ همدان و اصفهان توزیع نرمال و در خصوص اکوتیپ بوشهر نیز توزیع گامبل پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به سایر توزیع‌های آماری را نشان دادند. با مقایسه ثابت هیدروتایم در هر سه توزیع مورد بررسی نشان داده شد که در پتانسیل‌های آبی که احتمال جوانه‌زنی بذور اکوتیپ

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش بیان‌گر این مطلب است که پارامترهای مدل هیدروتایم قدرت بالایی در تفکیک قدرت اولیه بذر اکوتیپ‌های مختلف رازیانه دارد و می‌توان با کمک این پارامترها اکوتیپ متحمل به خشکی

آب پایه می باشد. بنابراین اختلاف معنی داری در تحمل اکوتیپ ها به سطوح مختلف تنش خشکی وجود داشت. در بین اکوتیپ ها، اکوتیپ بوشهر در شرایط شاهد و تنش خشکی بیشترین درصد و سرعت جوانه زنی را دارا بود. اکوتیپ بوشهر دارای کمترین مقدار پتانسیل پایه برای جوانه زنی بود که حاکی از تحمل بیشتر این اکوتیپ ها به تنش خشکی است.

بوشهر در هر سه توزیع در صورت عدم وجود کمون بذر، سریع تر از جوانه زنی اکوتیپ همدان و آن نیز سریع تر از جوانه زنی اکوتیپ اصفهان رخ خواهد داد. مدل هیدروتایم مبتنی بر توزیع ویبول قادر به پیش بینی جوانه زنی گونه هایی که برای آنها توزیع پتانسیل آب پایه متقارن و یا دارای چولگی به راست یا چپ است می باشد. در حالی که سایر توزیع ها دارای چولگی به راست بوده و در نهایت قادر به پیش بینی جوانه زنی گونه هایی با توزیع نسبتاً متقارن پتانسیل

Reference

منابع

- Adeli, R., E. Soltani, Gh. Abbas Akbari, and H. A. Ramshini. 2017.** Assessment of seed germination on the response to water potential in different canola genotypes using hydrotime model. *Crops Improve*. 19 (4): 921-932. (In Persian, with English Abstract)
- Allen, P. 2003.** When and how many hydrothermal models and the prediction of seed germination. *New Phytol*. 158(1): 1-3.
- Alvarado, V., and K.J. Bradford. 2002.** A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ*. 25(8): 1061-1069.
- Bagheri, M, AR. Golparvar, AH. Shirani Rad, H. Zeinali, and M. Jafarpoor. 2008.** The study of the planting date and different amounts of N fertilizer effects on the quantitative and qualitative features of German Chamomile medicinal plants in Isfahan condition. *J. Agric. Res*. 4: 29 - 40.
- Bewley, J.D., K.J. Bradford, H.W.M. Hilhorst, and H. Monogaki. 2013.** *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. Third Edition, Springer, NY.
- Bradford, K.J. 1990.** A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiol*. 94(2): 840-849.
- Bradford, K.J, and D.W. Still. 2004.** Application of hydrotime analysis in seed testing. *Seed Technol*. 26(1): 74-85.
- Bradford, K.J. 2002.** Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci*. 50: 248-260.
- Burnham K.P., and D.R. Anderson. 2002.** *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information Theoretic Approach*. Springer, New York, USA.
- Derakhshan A., H. Akbari, and J. Gherekhloo. 2014.** Hydrotime modeling of *Phalaris minor*, *Amaranthus retroflexus* and *A. blitoides* seed germination. *Iranian J. Seed Sci. Res*. 1(1): 82-95. (In Persian, with English Abstract)
- Derakhshan, A., H. Akbari, and J. Gherekhloo. 2014.** Hydrotime of *phalaris minor*, *Amaranthus retriflexus* and *A. blitoides* seed germination. *Iranian J. Seed Sci. Res*. 1(1): 83- 97. (In Persian, with English Abstract)
- Fathy, MS, H. Afaf, A. Shehata, E. Kaleel Shahera, and M. Ezzat. 2002.** An Acylated kaempferol Glycoside from flowers of *Foeniculum vulgare* and *Foeniculum dulce*. *Molecules. Polymer Sci*. 7: 245 - 51.
- Gummerson, R.J. 1986.** The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *J. Exp. Bot*. 37(6): 729-741.
- Larsen, S.U., C. Bailly, D. Come, and F. Corbineau. 2004.** Use of the hydrothermal time model to analysis interacting effects of water and temperature on germination of three grass. *Seed Sci. Res*. 14(2). 35-50.

- Mesgaran M.B., H.R. Mashhadi, H. Alizadeh, J. Hunt, K.R. Young, and R.D. Cousens. 2013.** Importance of distribution function selection for hydrothermal time models of seed germination. *Weed Res.* 53(2): 89-101.
- Meyer, S.E., and R.L. Pendleton. 2000.** Genetic regulation of seed dormancy in *Purshia tridentata* (Rosaceae). *Ann. Bot.* 85(2): 521-529.
- Michel, B.E. 1983.** Evaluation of water potential of solutions polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiol.* 72: 66- 70.
- SAS. 2009.** SAS/STAT 9.2 User's Guide. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Soltani E., and S. Farzaneh. 2014.** Hydrottime analysis for determination of seed vigour in cotton. *Seed Sci. Technol.* 42(2): 260-273.
- Telci I, D. Ibrahim, and S. Ayse. 2009.** Variation in plant properties and essential oil composition of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) fruits during stages of maturity. *Ind Crops Prod.* 30: 126 – 30.
- Tobe, K., Li, X. and Omasa, K., 2000.** Seed germination and radicle growth of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). *Ann. Bot.* 85(3): 391-396.
- Watt M.S., M. Bloomberg, and W.E, Finch-savage. 2011.** Development of a hydrothermal time model that accurately characterises how thermoinhibition regulates seed germination. *Plant Cell Environ.* 34(5): 870–876
- Watt M.S., V. Xu, and M. Bloomberg. 2010.** Development of a hydrothermal time seed germination model which uses the Weibull distribution to describe base water potential. *Ecol. Model.* 221(9): 1267–1272.