

تأثیر دماهای مختلف بر رفتار جوانه زنی بذر آویشن دنايي (اکوتیپ ایلام) *Thymus daenensis*

مجید تولیت ابوالحسنى^{1*}، رضا توکل افشاری²، محمدرضا جهانسوز²، فرزاد نجفی³
و حسنعلی نقدی بادی⁴

- 1- عضو هیات علمی گروه پژوهشی بیوتکنولوژی مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی، کرج، ایران و دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی دانشگاه تهران، کرج
- 2- استاد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
- 3- عضو هیات علمی پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- 4- دانشیار پژوهش، گروه پژوهشی کشت و توسعه مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی، کرج، ایران.

چکیده

آویشن دنايي *Thymus daenensis* یک گیاه دارویی معطر متعلق به تیره (Lamiaceae) و بومی ایران است. در این تحقیق برای بررسی رفتار جوانه زنی، بذر اکوتیپ ایلامی از این گونه در دماهای مختلف از 3 تا 40 درجه سانتی گراد قرار داده شد و سپس برخی از شاخص‌های جوانه زنی محاسبه شدند. برای تعیین درجه حرارت‌های کاردینال ابتدا رابطه سرعت جوانه زنی با تغییرات دمای بدست آمد و سپس برای برازش داده‌ها از دو مدل رگرسیونی استفاده شد. توسط ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) و ضریب رگرسیون (R^2) مدل‌ها ارزیابی شدند. مدل دندان مانند رفتار جوانه زنی را بهتر از مدل دوتکه ای توصیف کرد. طبق این مدل درجه حرارت پایه $1/39^{\circ}\text{C}$ و دمای مطلوب بین $20/2$ و $24/7$ درجه سانتی گراد و دمای حداکثر $39/68$ درجه سانتی گراد برای این اکوتیپ پیش‌بینی شد. درجه حرارت تأثیر معنی داری بر سایر شاخص‌های جوانه زنی نظیر درصد جوانه زنی نهایی، سرعت جوانه زنی روزانه، میانگین جوانه زنی روزانه، شاخص جوانه زنی و ضریب یکنواختی جوانه زنی داشت. با بررسی شاخص‌های جوانه زنی و درجه حرارت‌های کاردینال به نظر می‌رسد اکوتیپ ایلامی آویشن دنايي به منظور اجتناب از شرایط گرم و خشک منطقه، خود را با دماهای پایین تر سازگار کرده است تا از شرایط مرطوب زمستان و اوایل بهار حداکثر استفاده را بنماید.

کلمات کلیدی: آویشن دنايي، دماهای کاردینال، سرعت جوانه زنی، مدل رگرسیونی، ریشه میانگین مجذور خطا.

مقدمه

محیط، تبادلات گازی جنین و پوسته بذر در طی مراحل جوانه زنی بسیار اهمیت دارند (Zalucki and Daws, 2008) در میان عوامل متعدد محیطی، دما مهم ترین عامل موثر بر حداکثر شدن سرعت و درصد جوانه زنی است (Phartyal et al., 2003). در طبیعت

جوانه زنی بذر تحت تأثیر بسیاری از عوامل درونی و محیطی قرار دارد (Shim et al., 2008) عوامل محیطی نظیر مقدار و کیفیت نور (نسبت نور قرمز به قرمز دور)، دما، رطوبت قابل دسترس، مواد شیمیایی

آویشن دنیایی *Thymus daenensis* sub sp. *Daenensis* یک گیاه داروئی معطر و بومی ایران است که بطور گسترده ای در طب سنتی استفاده می شود، این جنس متعلق به تیره نعناعیان *Lamiaceae* بوده و خاستگاه اصلی آن منطقه مدیترانه است. این جنس در ایران شامل 14 گونه است که پنج گونه از آن ها (*Thymus daenensis* subsp. *daenensis* Celak and *T. daenensis* subsp. *lancifolius* Celak, *Thymus carmanicus* (Jalas.), *T. persicus* (Roniger ex Reach. (F.) and *T. trautvetteri* (Klokov & Desj.-Shost) بومی ایران هستند (Stahl-Biskup and Saez, 2002).

عصاره آویشن در صنایع عطرسازی و آرایشی و به عنوان چاشنی و نگهدارنده در تولیدات غذایی مصرف می شود و جوشانده برگ ها و گل های آن به عنوان بادشکن، هضم کننده، ضد تورم، ضد عفونت، ضد اسپاسم، ضد سرفه، خلط آور و برای درمان سرما خوردگی استفاده می شود (Baranauskienė et al., 2003) همچنین ضد باکتری، ضد قارچ، ضد ویروس و یک آنتی اکسیدان قوی است (Ghasemi et al., 2011).

توانایی پیش بینی زمان جوانه زنی نقش حیاتی در استقرار گیاهچه دارد. یک مدل زمان حرارتی با استفاده از دما می تواند زمان جوانه زنی و بقیه مراحل نمو را پیش بینی و کمی سازی نماید (Kurtar, 2010). هدف از این تحقیق بررسی رفتار جوانه زنی و تعیین دماهای کاردینال جوانه زنی بذر اکوتیپ ایلامی آویشن دنیایی در شرایط دمایی متفاوت است.

مواد و روش ها

برای بررسی رفتار جوانه زنی و پیش بینی دماهای کاردینال اکوتیپ ایلامی آویشن دنیایی آزمایشی بر

الگوهای جوانه زنی و استقرار در هر منطقه به صفات مورفولوژیکی و شیمیائی بذر بستگی دارد که تحت تاثیر یک یا ترکیبی از چند عامل قرار می گیرد. رفتار جوانه زنی مهم ترین بخش از استراتژی باززائی یک گونه است و بذرها مکانیزم حساس به شرایط محیط مساعد را دارا می باشند (Baskin and Baskin, 1998) بنابراین شرایط آب و هوایی مانند تغییرات دما و بارندگی سبب تغییر در پراکنش گونه ها می شود، شواهد نشان می دهد که گونه های گیاهی در پاسخ به تغییرات اقلیمی به سمت عرض های جغرافیایی بالاتر و ارتفاعات مساعدتر حرکت می کنند (Parmesan and Yohe, 2003) و کاهش شرایط محیطی مناسب در گونه های وحشی گیاهان داروئی امکان انقراض آن ها را افزایش می دهد (Thomas et al., 2004).

مدل های ریاضی متعددی برای توصیف رفتار جوانه زنی در برابر دما ارائه شده است (Covell et al., 1986). برخی از این مدل ها برای پیش بینی واکنش جوانه زنی تجمعی به کار می روند و دماهای کاردینال و ضرایب مدل را برای مقایسه توده های بذری نیز پیش بینی می کنند. هاردیگری (Hardegree, 2006a) سه مدل دمای کاردینال جوانه زنی گرمایی، رگرسیون غیرخطی و روش رگرسیون خطی دو تکه ای را مورد آزمون قرار داد و مشاهده کرد که دقت پیش بینی سرعت جوانه زنی و زمان جوانه زنی را می توان با کاربرد مدل های تجربی که کمترین فرضیات از پیش تعیین شده را دارند، افزایش داد. همچنین تبریزی (Tabriziet al., 2007) مدل پنج پارامتری بتا را در بین مدل های مورد آزمون برای آویشن خراسانی پیشنهاد کرد.

ضریب یکنواختی جوانه زنی¹ از متوسط زمان جوانه زنی طبق روابط 1 و 2 محاسبه شد (Bewley and Black, 1994):
(رابطه 1):

$$CVG = \frac{\sum_{i=1}^n ni}{\sum_{i=0}^n (D - Di)^2 * ni} * D = 100 / CRG$$

(رابطه 2):

$$CRG = \left(\frac{\sum_{i=1}^n ni}{\sum_{i=1}^n Di * ni} \right) * 100$$

که در آن ni تعداد بذرهای جوانه زده در روز i ام است و Di تعداد روزهای شمارش شده از روز کاشت تا روز جمع آوری داده. CRG ضریب سرعت کوتوسکی² و \bar{D} متوسط زمان جوانه زنی (MGT) هستند (Ranal and Santana, 2006). درصد نهایی جوانه زنی از رابطه 3 محاسبه شد (Yilmaz, 2008).

$$FGP = \frac{\sum ni}{N} * 100$$

(رابطه 3):

زمان رسیدن به 10 درصد، 50 درصد و 90 درصد جوانه زنی نهایی از رابطه گومپرتز⁴ برآورد شد، که در آن $y(t)$ درصد جوانه زنی تجمعی است و t زمان لازم برای رسیدن برای جوانه زنی و a ، b ضرایب معادله هستند (Gan et al. 1996).
(رابطه 4):

$$y(t) = FGP * \exp [-\alpha \exp(-b * t)]$$

میانگین جوانه زنی روزانه که نشان دهنده متوسط تعداد بذرهای جوانه زده در یک روز است از رابطه

روی بذرهای رسیده آن که در سال 1391 از منطقه مهران در استان ایلام جمع آوری شده بود، انجام گردید (جدول 1). بذرهای آن به رنگ قهوه ای تا سیاه با وزن هزار بذر حدود 0/5 گرم و سطح پوسته آن دارای موسیلاژ است. قبل از آزمایش بذرهای نارس و آفت زده جدا شدند، سطح بذرها با سدیم کلراید 1 درصد NaOCl به مدت سه دقیقه استریل و سپس آبکشی شد، سپس بذر در ظرف های پتری در نه دمای ثابت (3، 5، 10، 15، 20، 25، 30، 35 و 40 درجه سانتی گراد) در چهار تکرار در تاریکی و در رطوبت 70 تا 75 درصد قرار داده شدند، در هر ظرف پتری تعداد 50 عدد بذر بر روی دو لایه کاغذ واتمن طبق قانون (ISTA, 2003) قرار داده شد. کاغذها با حدود 5 میلی لیتر آب استریل بطور مرتب مرطوب نگه داشته می شدند. تعداد بذرهای جوانه زده هر 24 ساعت شمارش شدند. مبنای جوانه زنی بذر خروج ریشه چه از پوشش بذر و مشاهده آن با چشم غیر مسلح بود (Auld et al., 1988). در این تحقیق به منظور بررسی رفتار جوانه زنی بذر آویشن دنايي برخی از شاخص های جوانه زنی محاسبه و برای پیش بینی درجه حرارت های کاردینال از رابطه سرعت جوانه زنی در مقابل دما استفاده شد. به این منظور شاخص های جوانه زنی ذیل تعیین گردیدند.

شاخص های جوانه زنی

1-Coefficient of uniformity of germination
2-kotowski's coefficient of velocity
3- Meangermination time
4- Gompertz function

که زودتر جوانه زدند و حداقل وزن به بذرهایی داده شد که دیرتر جوانه زدند (Reddy *et al.*, 1985).
(رابطه 9):

$$WGI = [T \times n1 + (T-1) \times n2 + (T-2) \times n3 + \dots + 1 \times nT] / (T \times N)$$

در آن $n1, n2, \dots, nT$ تعداد بذرهایی جوانه زده در اولین و دومین و روزهای بعدی تا T امین روز آزمایش است، $T-1, \dots, 1$ وزنهای داده شده به بذرهایی جوانه زده در روزهای اول تا آخر آزمایش است. برای برآورد دماهای کاردینال از سرعت جوانه زنی استفاده شد، برای محاسبه سرعت جوانه زنی از رابطه عکس زمان رسیدن به 50 درصد جوانه زنی استفاده شد (Rozema *et al.*, 1975).

$$R50 = 1/D50 \quad (\text{رابطه 10})$$

سپس با مدل های رگرسیونی زیر بین دما (بعنوان متغیر مستقل: محور x) و سرعت جوانه زنی (بعنوان متغیر وابسته: محور y) برازش منحنی ها انجام گردید و درجه حرارت های کاردینال پیش بینی شد:
1- مدل مسطح یا دندان مانند که بر اساس روابط زیر محاسبه می شود⁴ (Krug and Kahlen, 2009).

$$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_{o1} - T_b)} \quad \text{if } T_b < T < T_{o1}$$

(رابطه 12):

$$f(T) = \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_{o2})} \quad \text{if } T_{o2} < T < T_c$$

زیر بدست آمد، که در آن N تعداد کل روزهای صرف شده برای جوانه زنی است:
(رابطه 5):

$$MDG = FGP/N$$

سرعت جوانه زنی روزانه از رابطه 6 بدست آمد:

(رابطه 6):

$$DGS = 1/MDG$$

میانگین زمان جوانه زنی¹ مطابق رابطه 7 محاسبه شد (Bewley and Black, 1994)، که در آن n تعداد بذرهایی است که در روز D جوانه می زنند و N تعداد کل بذر جوانه زده است.
(رابطه 7):

$$MGT = \sum_{i=1}^n (ni * Di) / \sum N$$

شاخص جوانه زنی² (Melville *et al.*, 1980) از رابطه زیر محاسبه شد، که در آن n بر حسب روز و انواع دیگر واحد زمان است، N تعداد کل روزهای صرف شده برای جوانه زنی بعلاوه یک است، Di تعداد روز تا i امین روز قرائت و Gi تعداد بذر گیاهچه های عادی در روز i ام است. S تعداد کل بذرهایی بکار رفته در آزمایش است.
(رابطه 8):

$$GI = \sum_{i=1}^n |(N - D) Gi| / S$$

و برای محاسبه شاخص جوانه زنی وزنی³ از رابطه 9 استفاده شد، حداکثر وزن به بذرهایی تعلق گرفت

4- Plateau model (Dent-like Model)

1- Mean germination time

2- Germination index

3- weight of germination index

(رابطه 13):

$$f(T) = 1 \quad \text{if } T_{o1} < T < T_{o2}$$

(رابطه 14):

$$f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

-2 مدل خطوط متقاطع یادو تکه ای¹

(رابطه 15):

$$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \quad \text{if } T_b < T \leq T_o$$

(رابطه 16):

$$f(T) = \left[1 - \frac{(T - T_c)}{(T_c - T_o)}\right] \quad \text{if } T \leq T < T_c$$

$$f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

که $f(T)$ تابع دمایی یا سرعت رشد (در روز)، T متوسط دما از کاشت تا جوانه زنی بر حسب سانتی گراد و T_b دمای پایه که در این دما $f(T)$ برابر با صفر می شود، T_c دمای حداکثر، T_o دمای مطلوب، T_{o1} دمای مطلوب تحتانی و T_{o2} دمای مطلوب فوقانی (در تابع دندان مانند) هستند.

ارزیابی مدل ها و تجزیه و تحلیل داده ها

بررسی کیفیت تطبیق منحنی ها با نقاط مشاهده شده به سه روش انجام شد. ابتدا برای ارزیابی از دو پارامتر ضریب تعیین (R^2) و خطا یا ستاندارد (SE) استفاده گردید سپس برای بررسی دقیق تر مجذور مربعات خطا² (RMSE) توسط رابطه 17 برای هر مدل محاسبه شد (Roman et al., 2000).

(رابطه 17):

$$RMSE = \sqrt{\sum_i (O_i - P_i)^2 / n - 1}$$

که در آن O_i مقدار مشاهده شده، P_i مقدار پیش بینی شده با مدل و n تعداد جفت مقادیر مورد استفاده در محاسبه (RMSE) است. مبنای انتخاب مدل برتر، (RMSE) کوچکتر از $10 \geq$ است، که نشان دهنده تطابق مناسب نقاط مشاهده شده با نقاط پیش بینی شده است. تجزیه داده ها در قالب طرح آزمایشی کاملا تصادفی با چهار تکرار (شامل یک اکوتیپ و نه درجه حرارت) انجام شد. میانگین ها به طور جداگانه توسط آزمون کم ترین اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال 0/01 مورد مقایسه قرار گرفتند. تجزیه داده ها با استفاده از PROC GLM در نرم افزار آماری SAS (9.2) انجام شد، در صورت لزوم داده ها توسط فرمول $\arcsin \sqrt{x/100}$ نرمال شدند. برای برازش مدل های رگرسیونی از بسته نرم افزاری Sigmaplot11 استفاده گردید.

نتایج و بحث

توانایی گیاهان برای تحمل دماهای مختلف یک صفت ژنتیکی است، بررسی رفتار جوانه زنی بذر گیاهان به منظور شناسایی منطقه جغرافیایی مناسب جهت استقرار و در نتیجه بهبود عملکرد ژنوتیپ مفید است (Massawe et al., 2003). تفاوت های ژنتیکی بذر سبب سازگاری گیاه با شرایط اکولوژیکی مختلف می شود، به این ترتیب تفاوت در رفتار جوانه زنی گونه های نزدیک به همرا می توان به محیط طبیعی آنها نسبت داد (Koutecká and Lepš, 2009)، اولین قدم برای شناسایی رفتار جوانه زنی و استقرار یک گونه تعیین دماهای کاردینال آن است.

1- Intersected lines Model (ISL)
2- Root Mean Square of Error

حداکثر شدند و پس از آن کاهش می یابند. سرعت جوانه زنی در دماهای 3 و 5 درجه سانتی گراد در مقایسه با اکوتیپ های دیگر این گونه که توسط محققین دیگر گزارش شده، بیشتر است (Nadjafi *et al.*, 2009). ولی به طور معنی داری از بقیه دماها پایین تر هستند، این کاهش جوانه زنی احتمالاً بعلت کاهش متابولیسم سلول در دمای پایین است، در اکوتیپ ایلام در دماهای بالاتر (35 تا 40 درجه سانتی گراد) سرعت جوانه زنی به سرعت کاهش می یابد.

اعتبارسنجی مدل دو تکه ای نشان می دهد که ضریب تعیین ($R^2=0/92$) درصد و خطای استاندارد (0/003) هر دو در حد قابل قبول است و F_s مدل در سطح 1 درصد معنی دار شده است ولی نکته قابل توجه اینست که RMSE بسیار پایین تر از 10 است که این امر می تواند ناشی از ماهیت و دقت مدل مورد مطالعه می باشد (جدول 2).

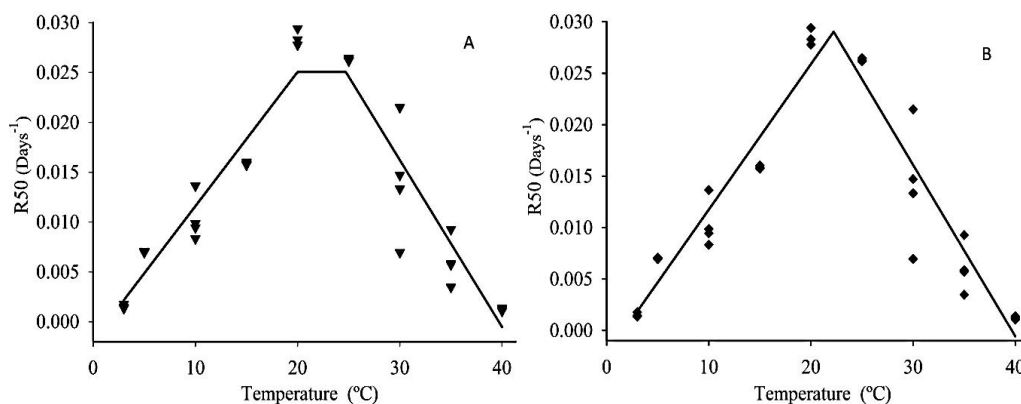
تخمین درجه دماهای کاردینال و ارزیابی مدل ها

در مدل دو تکه ای داده ها به دو دسته زیر مطلوب و بالای مطلوب تقسیم می شوند، ذکر این نکته ضروری است که مقدار Tb از برون یابی رگرسیون خطی داده ها بدست می آید و ممکن است مقدار آن اشتباه برآورد شود که تحت تاثیر عوامل بیولوژیک است (Massawe *et al.*, 2003). با این حال در برخی مطالعات هنگامی که رابطه دما و سرعت جوانه زنی بررسی شد، مدل دو تکه ای بهترین کارآیی را داشت (Massawe *et al.*, 2003; Kurtar, 2010).

دماهای کاردینال در اکوتیپ ایلام که با مدل رگرسیونی دو تکه ای برآورد شده در شکل 1 و جدول 2 مشاهده می شود. همان طور که ملاحظه می شود سرعت جوانه زنی تقریباً در 20 درجه سانتی گراد به حداکثر می رسد. بررسی شاخص های اندازه گیری شده نظیر MDGCUG, DGS, نیز پاسخ مشابهی را نشان می دهد و همگی در 20 درجه سانتی گراد

جدول 1- آمار هواشناسی منطقه مهران استان ایلام
Table1. Meteorological data of Ilam region

Meteorology	آمار هواشناسی
عرض جغرافیایی (Latitude (N)	33°38'
طول جغرافیایی (Longitude (E)	46°26'
ارتفاع (متر) (Altitude (m)	370
میانگین دمای سالانه (Mean annual temperature (°C)	24.3
میانگین بارندگی سالانه (Mean annual rainfall (mm)	195.7
میانگین حداقل دما (Mean Min temperature (°C)	-3.4 / Dec. آذر
میانگین حداکثر دما (Mean Max temperature (°C)	49.2 / July. تیر
حداکثر بارندگی ماهانه (Monthly Max rainfall (mm)	48.6 / Jan. دی
حداقل بارندگی ماهانه (Monthly Min rainfall (mm)	0.0 / May-July اردیبهشت - تیر



شکل 1- واکنش سرعت جوانه زنی به دما در اکوتیپ ایلامی آویشن دنايي که توسط توابع دندان مانند (A) و دو تکه ای (B) توصیف شده است. علائم (نقاط مشاهده شده) و خطوط (نقاط مدل شده).

Figure 1. Temperature effects on germination rate with their fitted Dent-like (plateau) model (A) and modified bilinear curves (B), respectively, for *T. daenensis* (Elam ecotype). Measured (symbols) and modeled (lines) values for thermal-time.

پایه و دمای حداکثر به ترتیب کمتر و بیشتر از مدل دو تکه ای پیش بینی شد (جدول 2).

مقایسه مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده توسط مدل دندان مانند نشان می دهد که ضریب تعیین $R^2(0/92)$ درصد و خطای استاندارد $(SE) 0/0028$ بدست آمدند که هر دو در حد قابل قبول است و F_S این مدل در سطح 0 درصد بسیار معنی دار شده است ولی نکته قابل توجه اینست که RMSE محاسبه شده برای این مدل خیلی کمتر از 10 است $(0/0119)$ که نشان دهنده دقت بالای این مدل برای تخمین دماهای کاردینال می باشد. به طور کلی براساس تخمین این مدل ها واکنش جوانه زنی بذرهای آویشن دنايي (اکوتیپ ایلام) به دمای، سازگاری بیشتری را به دماهای پایین نشان می دهد، از طرفی به نظر می رسد که دمای مطلوب برای رشد و جوانه زنی در یک محدوده 19 تا 26 درجه سانتی گراد قرار دارد. در دو آزمایش (Sincik, 2004; Phartyal et al., 2003) نشان داده شده است که افزایش دما از 5 تا 25 درجه سانتی گراد زمان لازم برای رسیدن به جوانه زنی

معمولا داده های مشاهده شده جوانه زنی با توابع خطی و درجه دو بطور نامناسبی برازش می شود بنابراین نایلر (Naylor, 2007) پیشنهاد کرد که برای برازش این داده ها از مدل مسطح استفاده شود. در این مدلها دو دمای مطلوب تحتانی و بالایی بجای یک دمای مطلوب وجود دارد. در آزمایش حاضر نیز نتایج بدست آمده از پیش بینی دماهای کاردینال اکوتیپ ایلامی آویشن دنايي (*Thymus daenensis*) نشان داد که جوانه زنی آن در محدوده وسیعتری از دماهای مطلوب رخ می دهد.

شاخص هایی نظیر GI ، $R50$ و WGI یک محدوده دمایی وسیع را برای رسیدن به حداکثر جوانه زنی در کم ترین زمان نشان می دهند. لذا برازش آمار مربوط به تغییرات سرعت جوانه زنی در مقابل دمایی با تابع رگرسیونی دندانی شکل (شکل 1)، برازش نشان داد که یک محدوده دمای مطلوب برای جوانه زنی بذر این اکوتیپ از آویشن دنايي بین $T_{opt}=20$ و $T_2=24/8$ درجه سانتی گراد وجود دارد، در این مدل دمای

ضریب رگرسیون معادله و مجذور مربعات خطا و (Fs) بزرگ بودند، لازم بذکر است که برای توصیف بهتر اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و شناسایی آستانه اکولوژیکی، کارآیی رگرسیون تابع مسطح بیشتر از توابع دیگر است (Naylor, 2007).

کامل، تقریباً ثابت باقی می ماند و با افزایش دما این زمان افزایش می یابد.

در تحقیق کوتر (Kurtar, 2010) نیز مدل مسطح توصیف خیلی بهتری از داده های جوانه زنی ارائه داد زیرا خطای استاندارد (متغیر مستقل) خیلی کوچک و

جدول 2- تخمین درجه حرارت های کاردینال (برحسب سانتیگراد) با دو مدل مختلف و ارزیابی آنها در آویشن دناهی (اکوتیپ ایلام).

Table 2. Result of models for predict of Cardinal Temperature in *Thymus daenensis* (Elam ecotype).

مدل Model	R ²	RMSE	SE	F _s	دمای پایه T _b ± SE	دمای مطلوب تحتانی T _{opt1} ± SE	دمای مطلوب بالایی T _{opt2} ± SE	دمای سقف T _{ce} ± SE
دندانیشکل Dent-like	0.92	0.0119	0.003	79.7**	1.4 ± 0.98 ^{ns}	20 ± 1.68**	24.7 ± 1.2**	39.68 ± 0.7**
دو تکه ای Intersected lines	0.92	0.0118	0.003	128.9**	1.6 ± 0.76 ^{ns}		22.85 ± 0.6**	37.6 ± 0.84**

ns و ** به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح احتمال خطای آماری 1 درصد
ns and **: non-significant and significant difference at 1% levels probability, respectively.

سانتی گراد بعد از 2/41 روز اتفاق افتاد، بذرها برای جوانه زنی در 3 و 5 درجه سانتی گراد به زمان بیشتری (8 روز) احتیاج دارند، در این شرایط FGP و GI کاهش یافتند. میانگین جوانه زنی روزانه (MGD) در 20 درجه سانتی گراد در اکوتیپ ایلام 13/238 درصد بود، درصد بیشتر این شاخص نشان دهنده نقش مثبت آن برای استقرار گیاه است. در 20 درجه سانتی گراد سرعت جوانه زنی روزانه (DGS) به طور معنی داری از بقیه دماها بیشتر بود. مقایسه میانگین های ضریب یکنواختی جوانه زنی (CUG) نشان می دهد که در 20 حداکثر است. میانگین زمان جوانه زنی (MGT) در 3 و 40 درجه سانتی گراد حداکثر بود و دمای مطلوب برای این شاخص 20 درجه سانتیگراد بود و بذرها در 2/4 روز جوانه میزنند. همچنین ضریب سرعت جوانه زنی (CRG) در این درجه حرارت حداکثر (41/55) بود (جدول 3). بنابراین با توجه به شاخص های اندازه گیری شده در این تحقیق

اثر دما بر شاخص های جوانه زنی

آنالیز واریانس اثر دماهای مختلف بر سرعت و سایر شاخص های جوانه زنی نشان داد که تغییرات دما اثر بسیار معنی داری (در سطح 1 درصد) بر این شاخص ها دارد. مقایسه میانگین ها (جدول 3) نشان می دهد که درصد جوانه زنی نهایی در دمای 3 تا 25 درجه سانتی گراد تقریباً ثابت می ماند و از بقیه دماها بیشتر است، این نتایج مطابق با یافته ها قبلی است که نشان داده بودند FGP در گونه های مورد آزمایش در محدوده 10 تا 30 درجه سانتیگراد تقریباً ثابت است (Naylor, 2007 and Hardegee, 2006a) و برخی محققین اعلام کرده اند که دمای ثابت حدود 5 درجه سانتی گراد سبب کاهش درصد جوانه زنی نهایی در آویشن دناهی می شود (Nadjafi et al., 2009).

همچنین شاخص جوانه زنی (GI) در محدوده درجه حرارت 5 تا 25 درجه سانتی گراد به طور معنی داری از بقیه دماها بیشتر بود ولی بیشترین (GI) در 20 درجه

سرعت جوانه زنی و سپس کاهش آن شد درحالی که FGP تقریباً ثابت بود و فگلاتی وهمکاران (Fogliani *et al.* 2004) یافتند که پایین تر از 20 درجه سانتی گراد و بالای 30 درجه سانتی گراد سرعت جوانه زنی در گونه های مورد آزمایش کاهش می یابد. در تحقیقی دیگر افزایش دما از 12 تا 25 درجه سانتی گراد سبب GI افزایش شد، ولی FGP تغییری نکرد (Psallida and Spyropoulos, 2006).

کاهش جوانه زنی در دمای بالا در اکوتیپ ایلام ممکن است بعلت القا خواب در بذرها باشد، به عبارت دیگر به علت اجتناب از خشکی و گرمای موجود در محیط طبیعی که نتیجه کاهش بارندگی و افزایش دما است، بذرها خواب ثانویه را تجربه می کنند. جوانه زنی در دمای فراتر از 35 درجه سانتی گراد جوانه زنی بشدت کاهش می یابد که به افزایش تنفس، تجزیه پروتئین ها و کاهش ذخیره بذر مربوط می شود. بررسی رفتار جوانه زنی نشان داد که در این اکوتیپ تعداد بذرها جوانه زده در دماهای زیر 5 و بالای 35 درجه سانتی گراد بسیار محدود می شود و تقریباً هیچ بذری در 40 درجه سانتی گراد جوانه نمی زند، این نتیجه مطابق با یافته های قبلی است (Kurtar, 2010; Hardegree, 2006b).

دمای لازم برای کمترین زمان رسیدن به حداکثر جوانه زنی (2 تا 3 روز) محدوده 15 تا 25 درجه سانتیگراد است، که در این حالت به 95% جوانه زنی میرسد. درصد جوانه زنی اکوتیپ ایلام بعد از 25 درجه سانتی گراد به تدریج کاهش می یابد. ولی حداکثر سرعت جوانه زنی در 20 تا 25 درجه سانتی گراد اتفاق می افتد. همچنین زمان رسیدن به 50 و 90 درصد جوانه زنی در دمای 20 تا 25 درجه سانتی گراد رخ می دهد (هرچند که ممکن است اختلاف معنی داری با برخی دماهای دیگر نداشته باشد) بررسی رفتار جوانه زنی اکوتیپ ایلام نشان داد که درجه حرارت های پایینتر سبب افزایش جوانه زنی می شود، در حالیکه در درجه دماهای بالا (30 تا 40 درجه سانتی گراد) بذر چندانی جوانه نزده و حتی بعد از دو ماه علائم پوسیدگی در آنها ظاهر می شود.

بذر به طور معنی داری در دمای 3 - 10 درجه سانتی گراد به تعداد روز بیشتری (40 تا 7 روز) برای شروع جوانه زنی نسبت به بقیه دماها نیاز دارد، در این شرایط GI در کمترین سطح خود است. بعد از 20 درجه سانتی گراد در این اکوتیپ MGT بسرعت افزایش و MGD بسرعت کاهش می یابد. در تحقیق سیلوریا و فرناندز (Silveira and Fernandes, 2006) افزایش دما از 15 تا 35 درجه سانتی گراد ابتدا سبب افزایش

جدول 3- مقایسه میانگین اثر دماهای مختلف بر شاخص های جوانه زنی بذر آویشن دناهی¹ (*Thymus daenensis*).

Table 3. Means comparison of germination indices as affected by different temperature in *Thymus daenensis* seeds¹.

Temperature °C	FGP	MGT	MDG	DGS	CUG	WGI	GI	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀	
3	89.3a	35.3a	1.19f	2.17e	0.85a	0.00f	0.13d	38.2b	316.7 b	665.5b	1432.3a
5	94a	8.1b	5.06c	0.46b	0.03ef	0.39c	65.5a	109.7 c	142.8cd	248.6de	
10	90.7a	6.2bcd	5.58bc	0.21de	0.076cd	0.64b	65.1a	62.5 cd	100.2cde	275.4de	
15	94a	4.1cde	13.24a	0.18de	0.12bc	0.75a	69.5a	46.2 cd	63.2de	173.9ef	
20	92.7a	2.4e	6.14b	0.07f	0.39a	0.74a	70.1a	9.4d	35.3e	117.8f	
25	86a	3.03de	3.94d	0.16ef	0.13b	0.71ab	64.5a	15.6 d	38.1e	131.5f	
30	68.7b	6.8bc	3.11de	0.26cd	0.03ef	0.45c	45.4b	16.5 d	83.4ed	382.6c	
35	56c	7.8b	0.04g	0.32c	0.045de	0.35c	39.2b	48.6 cd	185.5c	338.6cd	
40	1.3d	36.8a		0.92a	0.04def	0.004e	0.4c	767.2a	835.9a	913.6b	
LSD	8.756	3.33 [^]	0.948	0.0924	0.042	0.098	8.026	82.66	95.79	102.22	

¹ حروف مشابه از نظر آماری در سطح 1٪ معنی دار نیستند. درصد جوانه زنی نهایی FGP (%); میانگین زمان جوانه زنی MGT (day) میانگین جوانه زنی روزانه MDG (%); سرعت جوانه زنی روزانه DGS (day⁻¹); ضریب یکنواختی جوانه زنی CUG; شاخص جوانه زنی وزنی WGI; شاخص جوانه زنی GI; زمان رسیدن به 10، 50 و 90 درصد جوانه زنی D₁₀، D₅₀، D₉₀ (ساعت). LSD در سطح 1 درصد.

¹The values on the same letters are not significantly different at $p < 0.01$; Final Germination percent=FGP (%); Means germination time =MGT (day); Means daily germination=MDG (%); Daily germination speed=DGS (day⁻¹); Coefficient of germination uniformity=CUG; Wight germination index=WGI; Germination index=GI; Time to get 10, 50, 90% germination D₁₀, D₅₀, D₉₀ (Hours).LSD tested at $p < 0.01$.

تفاوت در پاسخ به دماهای مختلف می تواند ناشی از سازگاری یک گونه یا اکوتیپ به آب و هوای محل زندگی آن باشد.

بررسی وضعیت آب و هوای (جدول 1) نشان داد که اکوتیپ ایلام متعلق به یک منطقه نسبتاً گرم با بارندگی پایین است، در این منطقه فصل بارانی در طی زمستان و ابتدای بهار اتفاق می افتد و ماه های بعد از آن فوق العاده گرم تا حدود 50 درجه سانتی گراد و بدون بارندگی است، لذا انتظار می رود اکوتیپ ایلام برای زیست در چنین شرایطی باید قدرت تحمل بالای نسبت به دماهای بالا داشته باشد، اما براساس یافته های این تحقیق بنظر میرسد که این اکوتیپ از قرار گرفتن در شرایط گرم و خشک محل زندگی خود اجتناب کرده و خود را به دماهای پایین سازگار کرده است، به این ترتیب با انتقال جوانه زنی بذرهاش به فصل زمستان و اوایل بهار از رطوبت بیشتر و دمای مناسب این دوره بهترین استفاده را می نماید و قبل از

عملکرد و رشد هر گیاه به دمای میانگین و حداکثر وابسته است، اما نسبتاً مشکل است که اثرات فیزیولوژیکی افزایش دما را به زیستگاه گیاه ارتباط دهیم. براساس نتایج این تحقیق و برخی تحقیقات دیگر (Qiu *et al.*, 2006; Yilmaz, 2008) می توان این طور نتیجه گیری کرد که اکثر گیاهان در یک محدوده دمایی مطلوب رشد کرده و بهترین شاخص های جوانه زنی در این دامنه دمایی بدست می آیند. براساس یافته های بدست آمده در این آزمایش و بررسی شاخص های جوانه زنی به نظر می رسد با اینکه هر دو مدل ارزیابی خوبی از برازش داده ها داشتند، ولی مدل مسطح برای برازش داده ها و پیش بینی دماهای کاردینال رفتار جوانه زنی اکوتیپ ایلامی آویشن دانی را در مقابل تغییرات دمایی بهتر توصیف می کند. نجفی وهمکاران (Nadjafi *et al.*, 2009) گزارش کردند که رفتار جوانه زنی گونه ها به شرایط اکولوژیکی محیط زیست آنها مربوط می شود. لذا

ورود به فصل گرما و قطع بارندگی سیکل زندگی خود را خاتمه می دهد، این نکته قدرت رقابت اکوتیپ ایلامی را نسبت به گیاهان موجود درعرصه طبیعی که دماهای کاردینال آنها بالاتر است، افزایش داده و سبب استقرار بهتر گیاه خواهد شد.

References

منابع

- Auld, D.L., Bettis, B.L. Crock J.E. and Kephart, D. 1988.** Planting date and temperature effects on germination, emergence and seed yield of chickpea. *Agron. J.* 80: 909–914.
- Baranauskienė, R., P. R.Venskutonis, P. Viskelis, and Dambrauskienė, E. 2003.** Influence of nitrogen fertilizers on the yield and composition of thyme (*Thymus vulgaris*). *J. of Agri. and Food Chemistry.* 51: 7751–7758.
- Baskin, C.C., and Baskin, J.M. 1998.** Seeds, ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. USA Academic. 666 pp.
- Bewley, J.D., and Black, M. 1994.** Seeds: Physiology of development and germination. Plenum Press, New York. 445pp.
- Covell, S., Ellis, R. H. Roberts, E. H. Summerfield. R. J. 1986.** The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soybean and cowpea at constant temperatures. *J. Experimental Botany.* 37: 705-715.
- Fogliani, B., Bouraïma-Madjebi, S. Medevielle V. and Pineau, R. 2004.** Methods to promote germination of two Cunoniaceae species, *cunonia macrophylla* and *geissois pruinosa* from New Caledonia. *Seed Sci. and Technol.* 32, 703-715.
- Ghasemi Pirbalouti A., Rahimmalek, M. Malekpoor F. and Karimi, A. 2011.** Variation in antibacterial activity, thymol and carvacrol contents of wild populations of *Thymus daenensis* subsp. *daenensis* Celak. *Plant Omics J.* 4(4): 209-214.
- Hardegree S. P. 2006a.** Predicting germination response to temperature, cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. *Annals of Botany.* 97(6): 1115–1125.
- Hardegree S. and Winstral, A.H. 2006b.** Predicting germination response to temperature. II. three-dimensional regression, statistical gridding and iterative-probit optimization using measured and interpolated-subpopulation data. *Annals of Botany.* 98: 403–410.
- Koutecká E. and epš, J.L. 2009.** Effect of light and moisture conditions and seed age on germination of three closely related myositis species. *Folia Geobot.* 44 :109–130.
- Krug H. and Kahlen, K. 2009.** Modeling production subsystems at high abstraction level – a review. VI. emergence phase – modeling (Focused on Vegetable Crops). *European J. Hort. Sci.* 74 (4).
- Kurtar E. S. 2010.** Modeling the effect of temperature on seed germination in some cucurbits. *African J. of Biotechnology.* 9 (9):1343-1353.
- Massawe F.J., Azam-Ali, S.N. and Roberts, J.A. 2003.** The impact of temperature on seed germination in bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc) landraces. *Seed Sci. and Technol.* 31:259-273.
- Melville, A.H., Galletta, G.J., Draper, A.D. and Ng, T.J. 1980.** Seed germination and early seedling vigor in progenies of inbred strawberry selections. *Hort. Sci.* 15: 749-750.
- Nadjafi, F., Tabrizi, L. Shabahang J. and Mahdavi Damghani, A. M. 2009.** Cardinal germination temperatures of some medicinal plant species. *Seed Technol.* 31(2): 156-163.
- Naylor, R.E.L. 2007.** Using segmented regression to analyses the response of germination to temperature. *Seed Sci. and Technol.* 35:539-549.
- Nickavar, B., Mojab, F. and Dolat-Abadi, R. 2005.** Analysis of the essential oils of two thymus species from Iran. *Food Chemistry.* 90: 609–611.
- Olszewski, M.W., Pill, W.G. Scheiblin D.A. and Czymmek, K.J. 2009.** Use of confocal microscopy to relate germination vigor to embryo morphology of dormant and non-dormant purple top. *Seed Sci. and Technol.* 37:52-58.
- Parmesan, C. and Yohe G. 2003.** A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature.* 421 (6918): 37–42.
- Phartyal, S.S., Thapliyal, R.C. Nayal J.S. and Joshi, G. 2003.** Seed storage physiology of Himalayan elm (*Ulmus wallichiana*): an endangered tree species of tropical highlands. *Seed Science and Technology.* 31:651-658.

- Psallida, C. and Spyropoulos, C.G. 2006.** Does early endosperm mannanase activity has a causative role in the radicle protrusion process of tomato seeds. *Seed Sci. and Technol.* 34: 549-560.
- Qiu, J., Bai, Y. Coulman B. and Romo, J.T. 2006.** Using thermal time models to predict seedling emergence of orchardgrass under alternating temperature regimes. *Seed Sci. Res.* 16: 261-271.
- Ranal, M. A. and Santana D. G. 2006.** How and why to measure the germination process?. *Revista Brasilia Botany.* 29(1): 1-11.
- Reddy, L.V., Metzger R.J. and Ching, T.M. 1985.** Effect of temperature on seed dormancy of wheat. *Crop Sci.* 25: 455-458.
- Roman, E. S., Murphy S. D. and Swanton, C. J. 2000.** Simulation of *chenopodium album* seedling emergence. *Weed Sci.* 48: 217-224.
- Rozema, J. 1975.** The influence of salinity, inundation and temperature on germination of some halophytes and nonhalophytes. *Oecologia Plantrum.* 10:341-353.
- Shim, S., Jun-C. Moon, Jang, C.S. Raymer P. and, Kim, W. 2008.** Effect of potassium nitrate priming on seed germination of *Seashore Paspalum*. *Hort. Sci.* 43(7): 2259-2262.
- Silveira, F.A.O. and Fernandes, G.W. 2006.** Effect of light, temperature and scarification on the germination of *Mimosa foliolosa* (Leguminosae) Seeds. *Seed Sci. and Technol.* 34: 585-592.
- Sincik, M., Bilgili, U. Uzun, A. and Acikgoz, E. 2004.** Effect of low temperatures on the germination of different field pea genotypes. *Seed Sci. and Technol.* 32: 331-339.
- Stahl-Biskup, E. and Saez, F. 2002.** "Thyme, The genus *Thymus*". Taylor and Francis, p. 331.
- Tabrizi, L., Koocheki, A. Nassiri Mahallati M. and Rezvani Moghaddam, P. 2007.** Germination behaviour of cultivated and natural stand seeds of Khorasan thyme (*Thymus transcaspicus Klokov*) with application of regression models. (In Persian, with English Abstract). *Iranian J. Field Crops Res.* 5(2):249-257.
- Thomas, C.D., Cameron A. and Green, R.E. 2004.** Extinction risk from climate change. *Nature.* 427:145-158.
- Yilmaz, M. 2008.** Optimum germination temperature, dormancy, and viability of stored, non-dormant seeds of *Malus trilobata* (Poir.)C.K. Schneid. *Seed Sci. and Technol.* 36:747-756.
- Zalucki, J.M. and Daws, M.I. 2008.** Sources of variation in germination of *Xanthorrhoea johnsonii* (Xanthorrhoeaceae) seeds: maternal plant and seed mass effects. *Seed Sci. and Technol.* 36: 657-666.