University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

*Vol. 16, No. 1, pp. 143-153 (Spring 2023)*

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4425.2025

*Original article*

# Evaluation of flood tolerance in some flax genotypes using stress tolerance score index

**Z. Behzadi[1], H. Najafi[2*], Gh.A. Ranjbar[2], A. Pakdin Parizi[3]**

*1. PhD student in Plant Breeding, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran*
*2. Associate Professor, Department of Genetics and Breeding, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran*
*3. Assistant Professor of Tabarestan Agricultural Genetics and Biotechnology Research Institute*

Received 29 June 2021; Accepted 3 October 2021

## *Extended abstract*

### Introduction

Flax is a herbaceous plant with the scientific name of *Linum usitatissimum* L. The origin of this plant is reported to be the western Mediterranean. Flax is one of the most important oily and medicinal plants with wide compatibility and multiple uses. Waterlogging stress is one of the abiotic stresses that has received little attention despite the fact that it causes a lot of damage to the crop.

### Materials and methods

In this study, 100 flax cultivars were studied. The mentioned cultivars were planted in a greenhouse as a factorial experiment in a randomized complete block design to investigate genetic diversity and select the best cultivars in terms of yield and other morphological traits. First, flax seeds were planted in drainage pots containing field soil and aerated sand in a ratio of 2:1. Soil-related measurements including field capacity (FC) and soil electrical conductivity (EC) were performed. Waterlogging stress was applied in four-leaf stage. For two weeks, the pots that were in normal condition were irrigated according to the field capacity of the soil and the pots that were under stress were irrigated more than the field capacity of the soil. The main purpose of this study was to identify Waterlogging-resistant flax genotypes using all indices simultaneously and also to identify high-yield genotypes under Waterlogging stress and non-stress conditions. MP, STI, GMP, YI, DRI, YSI, SSI, TOL and β indices were calculated and finally tolerant and sensitive genotypes were identified by stress tolerance score (STS) index. STS equation for the raw data is not accurate. All indices in STS equation were standardized according to equation 10. All calculations were performed using SPSS software version 22 and Excel.

### Results and discussion

There was a significant correlation between Ys and Yp. TOL, STI, MP and GMP indices with positive and significant correlation with performance under normal conditions and STI, MP, GMP, YI and DRI with performance under normal conditions. Dendrogram was drawn based on stress tolerance score. Flax genotypes were divided into 4 groups: resistant, semi-resistant, semi-susceptible and susceptible. Analysis of variance was performed to determine the accuracy of grouping between groups and there was a significant difference between the groups. According to the stress tolerance score index, genotypes 364, 352, 286, 370 and 172 were identified as waterlogging tolerant genotypes in this study and

* Corresponding author: Hamid Najafi; E-Mail: najafi316@gmail.com

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

genotypes 263, 269, 295, 325 and 108 were the most sensitive genotypes. According to the stress tolerance score index, genotypes 364, 352, 286, 370 and 172 were submerged as stress tolerant genotypes. These genotypes are predicted to be used as donors of waterlogging tolerance genes. Research findings also indicate that tolerant genotypes ultimately lead to higher production and yields than other genotypes in conditions of heavy rainfall and prolonged waterlogging. These genotypes can also be used in breeding programs based on hybridization and identification of QTLs associated with waterlogging tolerance.

**Conclusions**

They were overwhelmed by tension. According to the stress tolerance score, genotypes 364, 352, 286, 370 and 172 were identified as flood tolerant genotypes in this study and genotypes 263, 269, 295, 325 and 108 were the most sensitive genotypes.

***Keywords*:** Flax, Stress tolerance and sensitivity indices, Stress tolerance score, Waterlogged stress

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۲

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4425.2025

*مقاله پژوهشی*

# ارزیابی تحمل به غرقاب در برخی از ژنوتیپ‌های کتان با استفاده از شاخص نمره تحمل به تنش

**زهرا بهزادی[۱]، حمید نجفی[۲*]، غلامعلی رنجبر[۲]، علی پاکدین پاریزی[۳]**

۱. دانشجوی دکتری رشته اصلاح نباتات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی
۲. دانشیار گروه ژنتیک و به‌نژادی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی
۳. استادیار پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان

**مشخصات مقاله**

*واژه‌های کلیدی:*
کتان
تنش غرقاب
شاخص‌های تحمل و حساسیت تنش
نمره تحمل تنش

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۴/۰۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۷/۱۱

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۲

۱۶(۱): ۱۴۳-۱۵۳

**چکیده**

**کتان گیاهی علفی با نام علمی *Linum usitaissimum* L. است. منشأ این گیاه غرب مدیترانه گزارش شده است. کتان ازجمله گیاهان مهم روغنی و دارویی با سازگاری وسیع و مصارف متعدد است. تنش غرقاب یکی از تنش‌های غیرزیستی است که باوجوداینکه در صورت بروز خسارت زیادی به محصول زراعی وارد می‌کند توجه کمی به آن شده است. برای غربالگری ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش از شاخص‌های مختلفی استفاده شده است. هدف اصلی این مطالعه شناسایی ژنوتیپ‌های کتان مقاوم به تنش غرقاب با استفاده از همه شاخص‌ها به طور هم‌زمان و همچنین شناسایی ژنوتیپ‌های پربازده در شرایط تنش غرقاب و شرایط بدون تنش بود. در این پژوهش ۱۰۰ رقم کتان موردمطالعه قرار گرفت. ارقام مذکور جهت بررسی تنوع ژنتیکی و انتخاب بهترین ارقام ازلحاظ عملکرد و سایر صفات مورفولوژیک در گلخانه به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی کشت شدند. پس از رسیدن گیاه به مرحله چهار برگی حقیقی، تنش غرقاب اعمال شد. به مدت دوهفته گلدان‌هایی که تحت تنش بودند تحت آبیاری بیش از ظرفیت مزرعه خاک بود. برخی شاخص‌ها محاسبه شد و درنهایت به‌وسیله شاخص نمره تحمل به تنش (STS) ژنوتیپ‌های متحمل و حساس شناسایی شدند. شاخص‌های TOL، STI، MP و GMP با عملکرد در شرایط نرمال و STI، MP، GMP، YI و DRI با عملکرد در شرایط تنش غرقاب همبستگی مثبت و معناداری داشتند. بر طبق نمره تحمل به تنش ژنوتیپ‌های ۳۶۴، ۳۵۲، ۲۸۶، ۳۷۰ و ۱۷۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش غرقاب در این مطالعه شناخته شدند و ژنوتیپ‌های ۲۶۳، ۲۶۹، ۲۹۵، ۳۲۵ و ۱۰۸ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند.**

## مقدمه

کتان گیاهی علفی با نام علمی *Linum usitaissimum* L. از خانواده‌ی Linaceae است. منشأ این گیاه غرب مدیترانه گزارش شده است. سال‌ها قبل از میلاد مسیح کتان روغنی در یونان کشت می‌شده است. کشت این گیاه در اروپا از سال ۱۸۰۵ میلادی به‌عنوان یک گیاه مهم صنعتی و دارویی آغاز شد. در اکثر فارماکوپه‌های[۱] معتبر از کتان روغنی به‌عنوان یک گیاه دارویی یاد شده و خواص درمانی آن مورد بررسی قرار گرفته است. دانه‌های پودر شده و همچنین روغن حاصل از دانه‌های کتان مصرف دارویی دارند. از مواد مؤثره کتان در درمان اگزما، مرطوب کردن پوست‌های خشک و معالجه تورم پوستی استفاده می‌شود. روغن مذکور حاوی مقادیر مناسبی ویتامین اف است و از این روغن به‌عنوان ملین آبسه‌ها و بعضی ناراحتی‌های پوستی استفاده می‌شود. کتان روغنی همه‌ساله در سطوح وسیعی در کشورهای آمریکا، آرژانتین، اروگوئه،

[۱]. فارماکوپه یا دارونامه که تحت عنوان کتاب دستور دارویی نیز از آن یاد می‌شود.

* نگارنده پاسخگو: حمید نجفی. پست الکترونیک: najafi316@gmail.com

هند، اتریش و مجارستان کشت می‌شود. ۲۰۰ گونه متعلق به جنس کتان شناخته شده است. گونه *اوسی تاتیسیموم* دارای دو زیرگونه به نام‌های *اوسی تاتیسیموم* (کتان کنفی) و *مدیترانیوم* (کتان روغنی) است.

دانه‌های کتان روغنی حاوی ۳۰ تا ۴۰ درصد روغن است. ۴۰ تا ۶۰ درصد روغن را اسید لینولییک و ۲۵ درصد آن را اسید لینولنیک تشکیل می‌دهد. روغن همچنین حاوی اسید استئاریک و اولییک است. غیر از اسیدهای چرب، روغن شامل مواد موسیلاژی (به مقدار سه تا شش درصد) است که در معالجه برخی بیماری‌های مربوط به پوست کاربرد دارد. قسمت اعظم مواد موسیلاژی را اسید گالاکتورونیک تشکیل می‌دهد. دانه‌های کتان همچنین حاوی پروتئین (۲۵ درصد)، فسفات (۰/۵ درصد) و همچنین گلیکوزیدهای سیانوژن است.

کتان ازجمله گیاهان مهم روغنی و دارویی با سازگاری وسیع و مصارف متعدد است که دانه، روغن و کنجاله آن در صنایع مختلف، تغذیه انسان و دام کاربرد فراوان دارد و در راستای تولید ارقام اصلاح‌شده آن لازم است تنوع ژنتیکی صفات و سازگاری و چگونگی واکنش آن در مقابل تنش‌های محیطی بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

بیدخوانی و همکاران (Bidkhani et al., 2015) گزارش کردند اختلاف بین میانگین دو زیرگونه و نواحی مختلف ازلحاظ برخی اجزای عملکرد معنی‌دار بود. میانگین صفات تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول در زیرگونهٔ *Usitatissimum* و وزن هزار دانه در زیرگونه *Mediteranum* بیشتر بود. تنوع ژنتیکی در مناطق مختلف و بسته به صفت، متفاوت بود. این مطلب بیانگر پتانسیل ژنتیکی بالقوه برای بهبود صفات مهم بزرک است.

سعیدی و طاهری (Saeidi and Taheri., 2017) نیز گزارش کردند بین فامیل‌های F3 ازلحاظ کلیه اجزای عملکرد، عملکرد دانه در بوته و عملکرد دانه در واحد سطح تفاوت معنی‌داری وجود داشت. دامنه تغییرات عملکرد دانه در واحد سطح از ۶۲۲ (فامیل ۳۲) تا ۲۲۱۲ کیلوگرم در هکتار (فامیل ۳۷) بود. روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته و عملکرد دانه در بوته در فامیل‌ها نیز به ترتیب بین ۸۲ تا ۹۷ روز، ۳۸ تا ۷۱/۳ سانتی‌متر و ۱/۲۷ تا ۳/۷۱ گرم تغییرات نشان داد. تنوع موجود برای صفات مورد بررسی بیشتر منشأ ژنتیکی داشته اکثر صفات مورد بررسی ازجمله عملکرد دانه و اجزای آن از تنوع ژنتیکی بالایی برخوردار بودند و انتخاب می‌تواند موجب بهبود ژنتیکی آن‌ها شود.

به‌نژادی گیاهی مدرن تأثیر عمیقی بر تولید غذا داشته و نقش مهمی در امنیت غذایی جهانی ایفا می‌کند. برای دست یابی به کشاورزی پایدار، باید تولید محصول در شرایط تغییرات اقلیمی به حداکثر برسد و ازدست‌رفتن محصول در شرایط نامساعد به حداقل رسانده شود (Fu, 2015). این مستلزم درک بهتر مکانیسم‌های تحمل تنش‌های محیطی در گیاهان زراعی برای دستیابی به کشاورزی پایدار است.

تغییرات شدید آب‌وهوایی مانع از دردسترس‌بودن آب در برخی مناطق و ایجاد خشک‌سالی شدید خواهد شد، درحالی‌که سایر مناطق جغرافیایی به علت بارش‌های شدید باران سیل جاری می‌شود (Bailey-Serres et al., 2012). یک اثر بزرگ تغییرات اقلیمی در سطح جهانی تغییر الگوهای بارندگی در بسیاری از مناطق جهان است. این امر موجب افزایش احتمال بارندگی طولانی‌مدت در زمستان و بهار و ایجاد سیلاب در تابستان است (Kreuzwieser and Rennenberg 2014).

غرقابی خاک ازجمله تنش‌های محیطی است که به‌عنوان یک مشکل عمده در مناطق با بارندگی زیاد، به‌خصوص مناطق شمالی کشور و خاک‌های با زهکشی ضعیف بروز نموده است. گیاهان زراعی برای فتوسنتز و تنفس به تبادلات گازهای اتمسفری نیاز دارند. معمول‌ترین مانع برای انتشار گاز آب است که محیط ریشه را اشباع می‌کند. اغلب یک دوره بارندگی طولانی یا آبیاری بیش از حد همراه با زهکشی ضعیف خاک باعث غرقاب شدن خاک می‌شود. در خاک‌های غرقاب فضای مخصوص هوا از آب پر شده و چون انتشار گاز در آب ده‌هزار مرتبه کاهش می‌یابد در این حالت اکسیژن موجود در ریزوسفر به‌وسیلهٔ ریشه تخلیه شده و خاک دچار مشکل کاهش اکسیژن و یا فقدان اکسیژن می‌شود. تخلیه اکسیژن محلول در خاک‌های غرقاب بسته به دما، فعالیت تنفسی گیاهان و میکروارگانیسم‌ها و نیز فراوانی و تداوم اشباع بودن خاک منجر به کاهش یا عدم وجود اکسیژن طی چند ساعت الی چند روز می‌شود (Galeshi, 2015).

تنش غرقاب یکی از تنش‌های غیرزیستی است که باوجوداینکه در صورت بروز خسارت زیادی به محصول زراعی وارد می‌کند توجه کمی به آن شده است. در طول تنش غرقاب جذب اکسیژن و مواد غذایی توسط ریشه از خاک به خطر می‌افتد. گاهی در طی بروز پدیده سیل کل اندام‌های هوایی گیاه یا بخشی از آن به زیر آب می‌رود در چنین مواردی، برخی از گونه‌های گیاهی تالابی، برای بازگرداندن تماس اندام

هوایی با هوا به‌وسیله برگ‌ها، میان‌گره یا دمبرگ کشیده و عمودی لوله‌های تنفسی برای دریافت اکسیژن ایجاد می‌کنند. این استراتژی فرار در برخی از گونه‌های برنج و همچنین در چند گونه گیاهی دیگر مشاهده شده است (Jackson, 2008). در یک استراتژی دیگر، گیاه وارد حالت غیرفعال (خفه شدن) می‌شود تا زمانی که آب‌ماندگی از بین برود، دوباره فعالیت عادی خود را از سر می‌گیرد (Voesenek et al., 2015; Akman et al., 2012). این یک تاکتیک پیچیده است، زیرا استفاده از انرژی و کربن باید به حداقل برسد تا در مدت‌زمان طولانی ذخیره شوند، درعین‌حال باید فعالیت سلولی نیز ادامه داشته باشد.

اکثر گونه‌های گیاهی نمی‌توانند تنش غرقاب یا آب-ماندگی در خاک را در طولانی‌مدت تحمل کنند. به‌خصوص محصولات زراعی به کمبود اکسیژن ناشی از غوطه‌ور شدن حساس هستند. در عوض برنج می‌تواند در این شرایط جوانه زده و رشد کند حتی اگر در آب غوطه‌ور باشد. اگرچه گیاهان اکسیژن را از طریق فتوسنتز تولید می‌کنند، فقدان یک سیستم کارآمد برای انتقال اکسیژن به اندام‌های غیر فتوسنتزی مانند ریشه، موجب می‌شود که این اندام‌ها دچار کمبود اکسیژن شوند و از اکسیژن محروم گردند (Perata and Alpi, 1993; van Dongen and Licausi, 2015). علاوه بر این، غرقاب شدن کامل گیاه با وقوع سیلاب‌ها ممکن است منجر به کاهش مقدار اکسیژن در اندام‌های زمینی شود، به‌ویژه هنگامی‌که غرقاب فتوسنتز را محدود کند (Voesenek et al., 2006). هیپوکسیا و آنوکسیا (به ترتیب کاهش اکسیژن و فقدان کامل اکسیژن) باعث القا برنامه‌های گسترده‌ای از بیان ژن، برای القای آبشارهای هورمونی و متابولیسم تخمیری می‌شود درنتیجه گیاه به استفاده از گلیکولیز برای تولید ATP روی می‌آورد (Perata and Alpi. 1993).

برای داشتن عملکرد بالا و بادوام در یک محیط مستعد تنش غرقاب به ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش غرقاب نیاز است. تحمل به غرقاب یک ویژگی کمی پیچیده است که شامل تعاملات بسیاری از مسیرهای متابولیکی مربوط به ژن‌های تحمل تنش است. شناسایی یک روش ارزیابی استاندارد مهم‌ترین مشکل در انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش غرقاب بوده است (Ahmed et al., 2013; Butsayawarapat et al., 2019). تحمل غرقاب به‌عنوان توانایی گیاه برای زندگی، رشد و تولیدمثل رضایت‌بخش در این شرایط تعریف می‌شود. گیاهان زراعی باید این توانایی را داشته باشند که نه‌تنها در شرایط تنش غرقاب زنده بمانند، بلکه یک محصول قابل‌برداشت نیز تولید کنند (Fatimah and Nurhidayati, 2020).

برای غربالگری ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش شاخص‌های مختلفی بر اساس روابط ریاضی مطرح شده است (Huang, 2000). شاخص تحمل (Clarke, 1992) (TOL)، میانگین محصول‌دهی (Mccaig and Clarke, 1982) (MP)، شاخص حساسیت به استرس (Fischer and Maurer, 1978) (SSI)، میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP) و شاخص تحمل تنش (Fernandez, 1992) (STI) و شاخص‌های دیگری همچون YI، DRI، YSI و β برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش پیشنهاد شدند. بیدینگر و همکاران (Bidinger et al., 1978) نشان دادند مقادیر مثبت شاخص پاسخ به تنش (DRI) با عملکرد در شرایط تنش رابطه مثبتی و معنی‌داری دارد. شاخص پایداری عملکرد (YSI) نیز توسط بوسلاما و شاپاو (Bouslama and Schapaugh, 1984) محاسبه و پیشنهاد شد. این پارامتر برای یک ژنوتیپ معین با استفاده از عملکرد دانه تحت تنش نسبت به عملکرد دانه آن در شرایط بدون تنش محاسبه می-شود. انتظار می‌رود ژنوتیپ‌های با YSI بالا در شرایط تحت تنش عملکرد بالا و در شرایط غیر تنش عملکرد کم داشته باشند.

روش‌های چندمتغیره مانند تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و یا تجزیه فاکتور پیچیده است و گاهی در تفسیر نتایج اشتباه صورت می‌گیرد. در مطالعه‌ای توسط عبداالشاهی و همکاران (Abdolshahi et al., 2013)، یک معادله (معادله ۱۲) به‌نام شاخص STS با استفاده از همه شاخص‌های تحمل و حساسیت، به‌طور هم‌زمان ساختند. معادله ۱۲ همان نتایج حاصل از تجزیه عاملی را با توجه به غربالگری ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی در دو سال ارائه داد. استفاده از معادله ۱۲ از تجزیه عاملی بسیار آسان‌تر بود و به‌عنوان یک ابزار غربالگری برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش پیشنهاد شده است. استفاده از همه شاخص‌های تحمل و حساسیت به‌طور هم‌زمان یک روش ساده و مناسب برای غربالگری ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش است (Abdolshahi et al., 2013). هدف اصلی این مطالعه شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش غرقاب با استفاده از همه شاخص‌ها به‌طور هم‌زمان و همچنین

شناسایی ژنوتیپ‌های پربازده در شرایط تنش غرقاب و شرایط بدون تنش بود.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۱۰۰ رقم کتان موردمطالعه قرار گرفت. خاستگاه ارقام مورد بررسی کشورهای دانمارک، مصر، استونی، اتیوپی، فرانسه، انگلستان، مجارستان، هند، ایتالیا، ژاپن، هلند، سوئد، اروگوئه، آمریکا، یوگوسلاوی و زیمباوه است (مشخصات ارقام در پیوست مقاله آمده است). ارقام مذکور از شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی تهیه گردید. ازآنجاکه تنوع و انتخاب اساس کار به‌نژادی است. جهت بررسی تنوع ژنتیکی و انتخاب بهترین ارقام ازلحاظ عملکرد و سایر صفات مورفولوژیک در گلخانه در آبان ماه به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل قالب طرح بلوک کامل تصادفی کشت شدند. ابتدا بذور کتان در گلدان‌های بدون زهکش حاوی خاک مزرعه و ماسه‌بادی با نسبت ۲:۱ کشت شدند. اندازه‌گیری‌های مربوط به خاک شامل ظرفیت مزرعه (FC) و هدایت الکتریکی (EC) خاک صورت گرفت. پس از رسیدن گیاه به مرحله چهار برگی حقیقی، تنش غرقاب اعمال شد. طی این مدت گلدان‌هایی که در شرایط نرمال هستند طبق ظرفیت مزرعه آبیاری شدند و گلدان‌هایی که تحت تنش بودند به مدت دو هفته تحت آبیاری بیش از ظرفیت مزرعه خاک (به‌طوری‌که تا یک سانتی‌متر بالای سطح خاک آب باشد) بود. کلیه مراقبت‌های لازم طی رشد و نمو گیاهان از قبیل آبیاری، وجین، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و... انجام شد زمان رسیدگی هر ژنوتیپ ثبت شد و بعد از رسیدگی کامل، بذور برداشت شده و عملکرد بوته برحسب گرم اندازه‌گیری شد. شاخص‌های تحمل و حساسیت تنش به‌صورت زیر محاسبه گردید:

شاخص حساسیت به تنش[۲]

$$SSI=\frac{1-(y_s/y_n)}{1-(\bar{y}_s/\bar{y}_n)} \quad [۱]$$

شاخص تحمل[۳]

$$TOL=y_n-y_s \quad [۲]$$

شاخص میانگین محصول‌دهی[۴]

$$MP=\frac{y_n+y_s}{2} \quad [۳]$$

شاخص تحمل به تنش[۵]

$$STI=\frac{(y_n)(y_s)}{(y_n)^2} \quad [۴]$$

میانگین هندسی محصول‌دهی[۶]

$$GMP=\sqrt{(y_n)(y_s)} \quad [۵]$$

شاخص پایداری عملکرد[۷]

$$YSI=\frac{(y_s)}{(y_n)} \quad [۶]$$

شاخص عملکرد[۸]

$$YI=y_s/\bar{y}_s \quad [۷]$$

شاخص پاسخ به تنش[۹]

$$DRI=\frac{Y_S-\hat{Y}_S}{SE} \quad [۸]$$

$$\hat{Y}=a+bY_n+cDTM \quad [۹]$$

$$Z_{ij}=\frac{X_{ij}-\bar{X}_i}{S_i} \quad [۱۰]$$

شیب‌خط رگرسیون[۱۰]

$$\beta=\frac{(Y_n-\bar{Y}_n)(Y_S-\bar{Y}_S)}{(Y_n-\bar{Y}_n)^2} \quad [۱۱]$$

نمره تحمل به تنش[۱۱]

$$STS = MP + STI + GMP + YI + DRI + YSI - SSI - TOL - \beta \quad [۱۲]$$

در این معادلات، Ys: عملکرد دانه در شرایط تنش غرقاب و Yn: عملکرد دانه در شرایط نرمال است، $\bar{Y}_S$ و $\bar{Y}_n$ به ترتیب میانگین عملکرد در شرایط تنش غرقاب و شرایط نرمال هستند. در شاخص پاسخ به تنش (معادله ۸) میزان عملکرد تخمین‌زده شده به‌وسیله خط رگرسیون و SE خطای استاندارد خط رگرسیون برای همه ژنوتیپ‌ها است. در معادله ۹ پارامترهای a، b c ضریب‌های رگرسیون چندمتغیره هستند که با روش حداقل مربعات تخمین زده شدند. لازم به ذکر است که در معادله رگرسیونی (معادله ۹) عبدالشاهی و همکاران استفاده از صفت تعداد روز تا گلدهی (DTF) را پیشنهاد کرده‌اند در این مطالعه صفت تعداد روز تا رسیدگی (DTM) به‌کار رفته است. طبق گزارش عبدالشاهی و همکاران (Abdolshahi et al., 2013) با در نظر گرفتن

[2] Stress Susceptibility Index (SSI)
[3] Tolerance (TOL) index
[4] Mean Productivity (MP) Index
[5] Stress Tolerance Index (STI)
[6] Geometric Mean Productivity (GMP) Index
[7] Yield Stability Index (YSI)
[8] Yield Index (YI)
[9] Drought response index (DRI)
[10] linear regression coefficient (b)
[11] Stress Tolerance Score (STS)

معادلات تحمل و حساسیت در شرایط تنش، مقدار زیاد برای MP، S، G، Y D و YSI و مقدار کم برای SSI، Tو β نشان‌دهنده تحمل نسبتاً بیشتری نسبت به تنش است؛ بنابراین ضرایب برای MP، GM،YI، DI و YSI مثبت و برای SSI، TOL و β منفی است. معادله STS (معادله ۱۲) برای داده‌های خام دقیق نیست. بن؛ راین، تمام شاخص‌های در معادله ST (معادله ۱۲) طبق معادله ۱۰ استاندارد شدند. کلیه محاسبات فوق با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۲۲ و Excel انجام شد.

## نتایج و بحث

همبستگی معنی‌داری بین Ys و Yp وجود داشت (r=۰/۳۱۸)، هرچند مقدار آن چندان قابل‌توجه نبود اما تا حدودی بیانگر رابطه عملکرد بالقوه برای افزایش عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش غرقاب است؛ بنابراین، انتخاب غیرمستقیم برای شرایط تنش غرقاب بر اساس نتیجه شرایط نرمال کافی نخواهد بود.

برای ارزیابی ۱۰۰ ژنوتیپ کتان ازنظر تحمل به تنش غرقاب، از نه شاخص انتخاب (STI، MP، GMP، YSI، DRI، YI، SSI، β و TOL) استفاده شد. TOL، STI، MP و GMP با Yn همبستگی مثبت و معناداری و STI، MP، GMP، YI و DRI با Ys داشتند (جدول ۱). رابطه نسبتاً بالا شاخص DRI در شرایط تنش غرقاب و برعکس پایین بودن همبستگی این شاخص با عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال می‌تواند بیانگر اهمیت صفت تعداد روز تا رسیدگی در افزایش تحمل گیاه کتان در شرایط تنش غرقاب باشد. تنش غرقاب گیاه را دیررس می‌کند. به عبارتی گیاه در شرایط تنش غرقاب با کند کردن متابولیسم‌های خود درصورتی‌که تنش در مرحله رویشی رخ دهد موجب به تعویق افتادن مرحله زایشی شود تا شرایط محیطی به حالت نرمال درآید. سینگ و همکاران (Singh et al., 2017) گزارش دادند میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI) و میانگین محصول‌دهی (MP) با عملکرد تحت تنش غرقاب و نرمال ارتباط مثبت داشتند؛ و این شاخص‌ها را برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش غرقاب معرفی کردند. همچنین بین شاخص تحمل (TOL) و عملکرد در شرایط تنش غرقاب همبستگی منفی وجود داشت، درحالی‌که شاخص تحمل با عملکرد در شرایط نرمال رابطه مثبت داشت. ارقام با عملکرد بالا هم در تنش و هم در شرایط نرمال توسط شاخص‌های SSI و TOL قابل‌شناسایی هستند. در این مطالعه STI، MP و GMP کارآمدترین شاخص‌های انتخاب برای شناسایی ژنوتیپ‌های پربازده برای شرایط نرمال و تنش غرقاب هستند.

**جدول ۱. همبستگی عملکرد در شرایط تنش غرقاب، عملکرد در شرایط نرمال و میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت ژنوتیپ‌های کتان**
**Table 1. Correlation between yield under waterlogging stress, yield under normal condition and mean tolerance and susceptibility indices of flax genotypes**

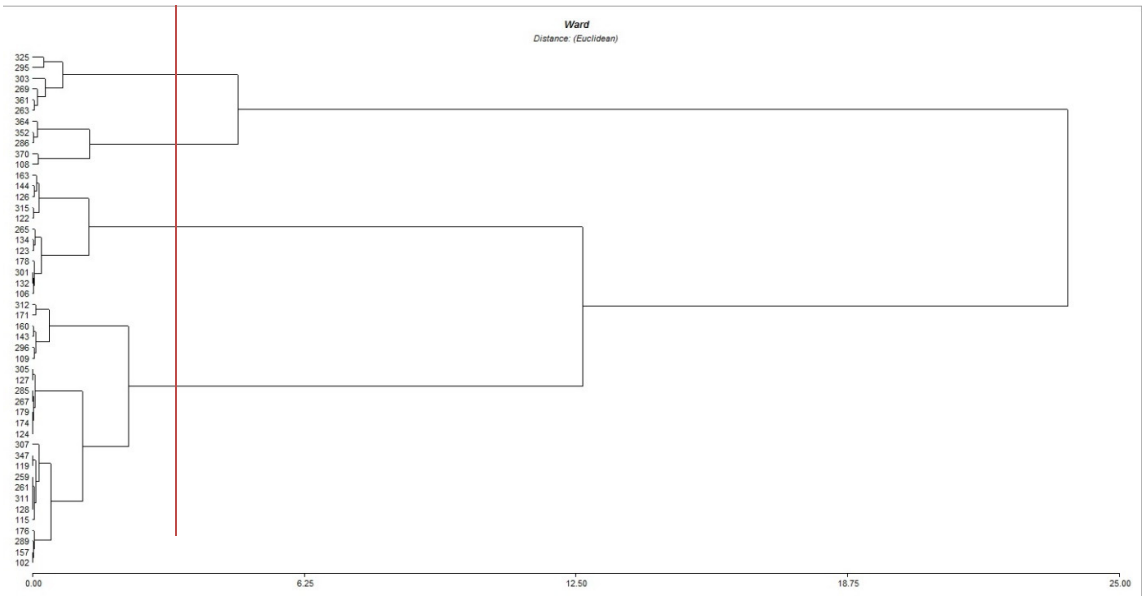
| | Yn | Ys | TOL | SSI | MP | STI | GMP | YSI | YI | DRI | B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Yn** | 1 | | | | | | | | | | |
| **Ys** | 0.32** | 1 | | | | | | | | | |
| **TOL** | 0.72** | 0.20* | 1 | | | | | | | | |
| **SSI** | 0.36** | -0.23* | 0.83** | 1 | | | | | | | |
| **MP** | 0.87** | 0.73** | 0.59** | 0.10 | 1 | | | | | | |
| **STI** | 0.80** | 0.75** | 0.43** | -0.06 | 0.97** | 1 | | | | | |
| **GMP** | 0.80** | 0.77** | 0.40** | -0.10 | 0.97** | 0.98** | 1 | | | | |
| **YSI** | -0.36** | 0.23* | -0.83** | -0.99** | -0.10 | 0.06 | 0.10 | 1 | | | |
| **YI** | 0.46** | 0.73** | -0.12 | -0.58** | 0.73** | 0.83** | 0.86** | 0.58** | 1 | | |
| **DRI** | 0.06 | 0.50** | -0.56** | -0.86** | 0.33** | 0.49** | 0.52** | 0.86** | 0.88** | 1 | |
| **B** | 0.14 | 0.17 | 0.32** | 0.28** | 0.19 | 0.15 | 0.14 | -0.28** | -0.04 | -0.18 | 1 |

عملکرد در شرایط نرمال (Yn)، عملکرد در شرایط تنش غرقاب (Ys)، شاخص تحمل (TOL)، میانگین محصول‌دهی (MP)، شاخص حساسیت به استرس (SSI)، میانگین هندسی محصول‌دهی (GMP)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص عملکرد (YI)، شیب‌خط رگرسیون (β)، شاخص پاسخ به تنش (DRI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) و شاخص نمره تحمل به تنش (STS)

Yield under normal conditions (Yn), yield under waterlogging stress (Ys), tolerance index (TOL), average yield (MP), stress sensitivity index (SSI), geometric mean yield (GMP), tolerance index stress (STI), yield index (YI), regression line slope (β), stress response index (DRI), yield stability index (YSI) and stress tolerance score index (STS)

بین SSI و YSI همبستگی بالای معنی‌دار در جهت منفی وجود دارد. همچنین بین GMP و STI همبستگی زیاد و معنی‌داری در جهت مثبت وجود داشت (جدول ۱). عبدالشاهی و همکاران (Abdolshahi et al., 2013) به نقل از فرناندز (Fernandez, 1992) گزارش کردند که STI بر اساس GMP برآورد می‌شود و بنابراین همبستگی رتبه‌ای بین STI و GMP برابر است با یک. همچنین GMP و STI ارتباط زیادی با MP داشتند (جدول ۱)؛ بنابراین، MP، GMP و STI می‌توانند نتایج مشابهی داشته باشند. بر اساس STI، MP و GMP، ژنوتیپ‌های ۱۰۳، ۲۸۵، ۲۸۶، ۳۷۰ و ۳۷۲ مقاوم‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش غرقاب و ۱۶۰، ۱۷۶، ۲۶۹، ۳۰۳ و ۳۰۵ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش غرقاب بودند. ژنوتیپ‌های ۲۹۵، ۳۲۵، ۱۰۸، ۳۱۶ و ۳۶۱ کمترین و ژنوتیپ‌های ۳۷۰، ۱۷۲، ۳۵۲، ۳۶۴ و ۲۸۶ بیشترین مقدار شاخص DRI را داشتند دراین‌بین ژنوتیپ‌های ۲۸۶ و ۳۷۰ که از این حیث به‌عنوان ژنوتیپ‌های دیررس شناخته می‌شوند توسط STI، MP و GMP نیز به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش غرقاب معرفی شدند؛ اما نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها هم‌پوشانی بین شاخص‌ها وجود نداشت؛ بنابراین، شاخص‌های مختلف تقریباً نتیجه یکسانی ندارند.

دندروگرام بر اساس نمره تحمل به تنش رسم شد ژنوتیپ‌های کتان به ۴ گروه مقاوم، نیمه مقاوم، نیمه‌حساس و حساس تقسیم شدند (شکل ۱). برای اطلاع از صحت گروه‌بندی بین گروه‌ها تجزیه واریانس انجام شد و طبق جدول ۲ تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها وجود داشت. جدول ۳ نیز معنی‌داری بین میانگین‌های هر گروه را نشان می‌دهد. بر طبق نمره تحمل به تنش ژنوتیپ‌های ۳۶۴، ۳۵۲، ۲۸۶، ۳۷۰ و ۱۷۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش غرقاب در این مطالعه شناخته شدند و ژنوتیپ‌های ۲۶۳، ۲۶۹، ۲۹۵، ۳۲۵ و ۱۰۸ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴).




**شکل ۱. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس نمره تحمل به تنش ژنوتیپ‌های کتان**

**Fig. 1. Dendrogram from cluster analysis based on stress tolerance score of flax genotypes**

با استفاده از نمره تحمل به تنش ژنوتیپ‌های ۳۶۴، ۳۵۲، ۲۸۶، ۳۷۰ و ۱۷۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش غرقاب بودند. پیش‌بینی می‌شود که از این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان اهداکننده ژن‌های تحمل غرقاب مورداستفاده قرار گیرند. یافته‌های تحقیق همچنین حاکی از آن است که ژنوتیپ‌های متحمل درنهایت منجر به تولید و بازده بالاتر نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در شرایط بارندگی شدید و آب‌ماندگی طولانی می شود. این ژنوتیپ‌ها همچنین می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی بر اساس هیبریداسیون و شناسایی QTLهای مرتبط با تحمل غرقاب استفاده شود.

**جدول ۲. تجزیه واریانس بین گروه‌های معرفی‌شده حاصل تجزیه خوشه‌ای بر اساس نمره تحمل به تنش ژنوتیپ‌های کتان**

**Table 2. Analysis of variance between the introduced groups resulting from cluster analysis based on stress tolerance score of flax genotypes**

| منابع تغییر S.O.V | | d.f | میانگین مربعات M.S |
|---|---|---|---|
| گروه Group | | 3 | 1015.874** |
| خطا Error | | 96 | 4.684 |
| کل Total | | 99 | - |

**جدول ۳. مقایسه میانگین مقدار STS گروه‌های ژنوتیپ‌های کتان**

**Table 3. Comparison of mean STS values of flax genotype groups**

| گروه Group | تعداد ژنوتیپ در هر گروه Number of Genotypes Per Group | میانگین مقدار STS Mean STS |
|---|---|---|
| حساس Sensetive | 12 | -9.34[d] |
| نیمه‌حساس Semi- Sensetive | 31 | -3.80[c] |
| نیمه مقاوم Semi-Tolerant | 52 | 3.00[b] |
| مقاوم Tolerant | 5 | 14.73[a] |

**جدول ۴. میانگین مقدار STS ژنوتیپ‌های کتان**

**Table 4. Mean STS of flax genotypes**

| ژنوتیپ Genotypes | مقدار STS Mean STS | گروه Group | ژنوتیپ Genotypes | مقدار STS Mean STS | گروه Group | ژنوتیپ Genotypes | مقدار STS Mean STS | گروه Group |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 265 | 0.59 | SemiTolerant | 143 | 3.91 | SemiSensitive | 303 | 8.81 | Sensitive |
| 134 | 0.45 | SemiTolerant | 160 | 3.97 | SemiSensitive | 361 | 9.52 | Sensitive |
| 106 | 0.16 | SemiTolerant | 305 | 4.73 | SemiSensitive | 263 | 9.70 | Sensitive |
| 301 | 0.11 | SemiTolerant | 179 | 4.82 | SemiSensitive | 269 | 10.01 | Sensitive |
| 132 | 0.11 | Tolerant Semi | 124 | 4.84 | SemiSensitive | 295 | 10.61 | Sensitive |
| 178 | 0.24 | SemiTolerant | 174 | 4.85 | SemiSensitive | 325 | 11.68 | Sensitive |
| 123 | 0.40 | SemiTolerant | 289 | 5.18 | SemiSensitive | 108 | 13.14 | Sensitive |
| 163 | 1.10 | SemiSensitive | 157 | 5.23 | Semi Sensitive | 261 | 5.63 | Semi Tolerant |
| 126 | 1.36 | SemiSensitive | 176 | 5.32 | SemiSensitive | 128 | 5.62 | Semi Tolerant |
| 144 | 1.52 | SemiSensitive | 115 | 5.50 | SemiSensitive | 102 | 5.25 | Semi Tolerant |
| 315 | 1.67 | SemiSensitive | 259 | 5.60 | SemiSensitive | 267 | 4.87 | Semi Tolerant |
| 122 | 1.73 | SemiSensitive | 311 | 5.62 | SemiSensitive | 285 | 4.86 | Semi Tolerant |
| 364 | 16.28 | Tolerant | 119 | 5.73 | SemiSensitive | 127 | 4.76 | Semi Tolerant |
| 352 | 15.95 | Tolerant | 347 | 5.75 | SemiSensitive | 296 | 4.23 | Semi Tolerant |
| 286 | 15.87 | Tolerant | 307 | 6.02 | SemiSensitive | 109 | 4.10 | Semi Tolerant |
| 370 | 13.71 | Tolerant | 171 | 3.11 | SemiTolerant | 312 | 3.43 | Semi Tolerant |
| 172 | 11.83 | Tolerant | 309 | 3.03 | SemiTolerant | 270 | 3.35 | Semi Tolerant |
| 278 | 9.77 | Semi Tolerant | 349 | 2.94 | SemiTolerant | 298 | 3.26 | Semi Tolerant |
| 130 | 9.39 | Semi Tolerant | 264 | 2.75 | SemiTolerant | 275 | 3.16 | Semi Tolerant |
| 180 | 8.01 | Semi Tolerant | 177 | 2.58 | SemiTolerant | 342 | 3.15 | Semi Tolerant |
| 131 | 7.45 | Semi Tolerant | 366 | 2.55 | SemiTolerant | 362 | 1.65 | Semi Tolerant |
| 274 | 7.21 | Semi Tolerant | 107 | 2.49 | SemiTolerant | 103 | 1.54 | Semi Tolerant |

**Table 4. Continued** **جدول ۴. ادامه**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 372 | 6.65 | Semi Tolerant | 129 | 2.37 | SemiTolerant | 146 | 1.52 | Semi Tolerant |
| 317 | 6.40 | Semi Tolernt | 287 | 2.26 | SemiTolerant | 181 | 1.48 | Semi Tolerant |
| 105 | 1.83 | Semi Sensitive | 293 | 2.14 | SemiTolerant | 142 | 1.44 | Semi Tolerant |
| 193 | 1.86 | Semi Sensitive | 302 | 1.93 | SemiTolerant | 166 | 1.41 | Semi Tolerant |
| 330 | 2.03 | Semi Sensitive | 120 | 1.89 | Semi Tolerant | 135 | 1.19 | Semi Tolerant |
| 175 | 2.30 | Semi Sensitive | 337 | 6.18 | Semi Sensitive | 110 | 1.06 | SemiTolerant |
| 340 | 2.62 | Semi Sensitive | 104 | 7.26 | Sensitive | 168 | 0.98 | SemiTolerant |
| 208 | 2.82 | SemiSensitive | 294 | 7.43 | Sensitive | 164 | 0.97 | SemiTolerant |
| 211 | 3.08 | Semi Sensitive | 328 | 7.78 | Sensitive | 260 | 0.71 | SemiTolerant |
| 324 | 3.45 | SemiSensitive | 268 | 8.02 | Sensitive | 350 | 0.71 | SemiTolerant |
| 162 | 3.58 | SemiSensitive | 316 | 8.07 | Sensitive | 310 | 0.62 | SemiTolerant |
| 159 | 3.62 | SemiSensitive | | | | | | |

## منابع


Abdolshahi, R., Safarian, A., Nazari, M., Pourseyedi, S., Mohamadi-Nejad, G., 2013. Screening drought-tolerant genotypes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using different multivariate methods. Archives of Agronomy and Soil Science. 59, 685704. https://doi.org/10.1080/03650340.2012.667080

Ahmed, F., Rafii, M.Y., Ismail, M.R., Juraimi, A.S., Rahim, H.A., Asfaliza, R., Latif, M.A., 2013. Waterlogging tolerance of crops: Breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects. BioMed Research International. 2013, 963525. https://doi.org/10.1155/2013/963525

Akman, M., Bhikharie, A.V., McLean, E.H., Boonman, A., Visser, E.J.W., Schranz, M.E., van Tienderen, P.H., 2012. Wait or escape? Contrasting submergence tolerance strategies of *Rorippa amphibia*, *Rorippa sylvestris* and their hybrid. Annals of Botany. 109(7), 1263-1276. https://doi.org/10.1093/aob/mcs059

Bailey-Serres, J., S. Lee, E. Brinton. 2012. Waterproofing effective flooding survival strategies. Plant Physiology. 160(4), 1698–1709. https://doi.org/10.1104/pp.112.208173

Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V., Rao, G.D.P., 1978. Assessment of drought resistance in millet Factors effecting yields under stress. Australian Journal of Agriculture Research. 38, 37-48.

Bidkhani Nejadeh, F., Mohammadi Mirik, A.A., Dashti, H., 2015. Evaluation of two subspecies of flax (*Linum usitatissimum*) in different geographical regions for genetic diversity of seed yield and it's components. Iranian Journal of Field Crop Science. 45, 603-611 [In Persian with English summary].

Bouslama, M., Schapaugh, W.T., 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science. 24, 933-937.

Butsayawarapat, J., Khamsuk, S., 2019. Comparative transcriptome analysis of waterlogging-sensitive and tolerant zombi pea (*Vigna Vexillata*) reveals Energy Conservation and Root Plasticity Controlling Waterlogging Tolerance. Plants (Basel). 8(8), 264. https://doi.org/10.3390/plants8080264

Clarke, J.M., Depauw, R.M., Townley-Smith, T.M., 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Science. 32, 728-32.

Fatimah, V.S., Nurhidayati, T., 2020. Morphophysiological characteristic responses of soybean (*Glycine max* l.) grobogan variety in waterlogging stress. Ecology, Environment and Conservation Journal. 26, April Suppl. Issue, 132-138.

Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (ed.), Adaptation of Vegetables and Other Food Crops to Temperature Water Stress. Asian Vegetable Research and Development Center, Tainan. pp. 257-270.

Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research. 29, 897-912.

Fu, Y.B., 2015. Understanding crop genetic diversity under modern plant breeding. Theoretical and Applied Genetics. 128, 2131–2142. https://doi.org/10.1007/s00122-015-2585-y

Galeshi, S., 2015. Effect of Environmental Stresses on Plants (Drought - Salinity - Heat - Flooding). Publication of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources [In Persian].

Huang, B., 2000.. Plantenvironment interactions, pp. 39-64.

Huang, B., 2000. Role of root morphological and physiological characteristics in drought resistance of plants. In: Wilkinson, R.F. (Ed.), Plant-Environment Interactions. Marcel Inc., New York, pp, 39-64.

Jackson, M.B., 2008. Ethylene-promoted elongation: an adaptation to submergence stress. Annals of Botany. 101, 229-248.

Kreuzwieser, J., Rennenberg, H., 2014. Molecular and physiological responses of trees to waterlogging stress. Plant, Cell and Environment. 37, 2245–2259.

Mccaig, T.N., Clarke, J.M., 1982. Seasonal changes in nonstructural carbohydrate levels of wheat and oats grown in semiarid environment. Crop Science. 22, 963-70.

Perata, P., Alpi, A., 1993. Plant responses to anaerobiosis. Plant Scienc. 93, 1-17. https://doi.org/10.1016/0168-9452(93)90029-Y.

Saeidi., G., Taheri, E., 2017. Study of seed yield and agronomic characters in some F3 families of flax (*Linum usitatissimum* L). Journal of Crop Production and Processing. 7, 33-46 [In Persian with English summary].

Singh, G., Singh, M.K., Tyagi, B.S., Singh, J.B., Kumar, P., 2017. Germplasm characterization and selection indices in bread wheat (*Triticum aestivum*) for waterlogged soils in India. Indian The Journal of Agricultural Science, 87(9),1139-1187.

van Dongen, J., Licausi, F., 2015. Oxygen sensing and signaling. Annual Review of Plant Biology. 66, 345-367.

Voesenek, L., Colmer, T., Pierik, R., Millenaar, F., Peeters, A., 2006. How plants cope with complete submergence. New Phytologist. 170, 213-226. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01692.x

Voesenek, L.A.C.J., Bailey-Serres, J., 2015. Flood adaptive traits and processes: an overview. New Phytologist. 206, 57-73.