Journal of Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 3, Fall 2023, p. 301-314

Influence of Duration of Inter-species Interference and Determination of the Critical Period for Weed Control in Peppermint (*Mentha piperita* L.)

A.H. Ladmakhi-nezhad[1], E. Mohammadvand[2*], J. Asghari[3]

Received: 17-07-2021
Revised: 02-09-2023
Accepted: 05-09-2023
Available Online: 05-09-2023

How to cite this article:
Ladmakhi-nezhad, A.H., Mohammadvand, E., & Asghari, J. (2023). Influence of duration of inter-species interference and determination of the critical period for weed control in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *37*(3), 301-314. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2023.71514.1035

Introduction

Peppermint (*Mentha piperita*) is considered as one of the oldest medicinal plants. It is herbaceous and perennial belonging to the Lamiaceae family. The production of secondary metabolites in plants is influenced by the environment. Weed competition is of the most effective factors affecting crop yield in medicinal plant production systems, and can influence the quantity and quality of the essence constituents. The extent of crop yield loss depends on presence and competition duration of weeds. A period during the crop growing season in which weeds control is essential to prevent yield loss is called the critical period of weeds control. Respect to the importance of weed presence duration in yield loss, and the variability for critical period of weeds control depending on crop species and cultivar, and characteristics of weeds communities in different areas, and also because of increased interest in medicinal plants production and extraction, and limitation for herbicide application in medicinal plants, it is essential to understand different aspects of weed- peppermint competition. Therefore, the objective of this research was to acquire information about the effects of weed competition duration on peppermint growth and yield, which possibly can lead to integrate various approaches into weed management programs, and improve weed control strategies.

Materials and Methods

This study was conducted as a randomized complete block design with 12 treatments and three replications at research farm of the University of Guilan. Treatments were arranged in two series including weed-free and weed-infested treatments which respectively hand-weeded and un-weeded from the beginning of the growing season up to 16, 32, 48, 64, 80, and 96 days after crop planting. Peppermint cuttings with 6-8 cm height were hand-planted on 50-cm apart rows with 20 cm spacing between plants (density of 10 plants.m^{-2}) on early May. Peppermint plants were hand-harvested 96 days after planting when 50% flowering occurred at the full-season weed-free plot.

Results and Discussion

Dominant weed species included barnyard-grass (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.), yellow foxtail (*Setaria glauca* (L.) Beauv.), annual nutsedge (*Cyperus difformis* L.), crab-grass (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop), knotgrass (*Paspalum distichum* L.), common cocklebur (*Xanthium strumarium* L.), spurge (*Euphorbia indica*

1, 2 and 3- M.Sc. Graduate, Assistant Professor and Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mohammadvand@guilan.ac.ir
https://doi.org/10.22067/jpp.2023.71514.1035

Lam.) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.). Maximum height of peppermint (71.2 cm) was observed in treatments with at least 32 weed-free and at most 32 weed-infested days from the beginning of the growing season. In the other treatments, final height of peppermint plants reduced by 9.1%. Nod number per stem (22 nodes) was not influenced by weed control or interference. The maximum branch number per plant (37.1) was observed in treatments with at least 32 weed-free and at most 48 weed-infested days. The minimum branch number per plant was observed in the full-season weed-infested treatment (14.6) and also in the treatment that hand weeded just 16 days from the beginning of the growing season (17.6). The maximum dry weight of peppermint at harvest (193.62 $g.m^{-2}$) was observed in treatments with at least 48 weed-free and at most 32 weed-infested days. The minimum dry weight of peppermint was 30.06 $g.m^{-2}$ and belonged to the treatments including at least 64 weed-infested days, and also to the treatment was weed-infested from 16 days after planting up to the end of the growth seaso. Biological yield of peppermint in full-season weed-free treatment was 2044 $kg.ha^{-1}$. For control treatments, weedy condition during 16, 32, 48, 64, and 80 days led to a biological yield loss of 0.3, 3.2, 7.8, 27.9, and 87.2%, respectively, whereas for infested treatments, weedy condition during 16, 32, 48, 64, and 80 days caused 4.8, 15.6, 41.5, 75.1, and 87.7% biological yield loss, respectively. Also 91.3% reduction was recorded for biological yield of full-season un-weeded treatment. The highest percentage and yield of peppermint essence were observed in treatments of 64, 80, and 96-day weed-free (3.38% and 68.30 $kg.ha^{-1}$). The least essence percentage was 0.48% and was recorded for 96-day (full-season) weed-infested treatment. The least essence yield was belonged to 96, 80 and 64-day weed-infested, and 16-day weed-free treatments (4.4 $kg.ha^{-1}$).

Conclusion

In general, the growth and yield of peppermint diminished with decreasing weed-free duration and increasing weed-infested duration. Full-season weed competition compared to the full-season weed-free control, reduced height, branch number, biological yield, essence percentage, and essence yield of peppermint by 13.5, 61.1, 91.3, 86.3, and 98.8%, respectively. These results support the importance of weed management in peppermint, as weeding was necessary from 22 to 49 days after peppermint planting by accepting up to 5% yield loss, and from 29 to 42 days by accepting up to 10% yield loss.

Keywords: Critical period for weed competition, Gompertz equation, Logistic Model, Medicinal plants, Weed management

نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷ شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص. ۳۱۴-۳۰۱

تأثیر مدت‌زمان تداخل بین‌گونه‌ای و تعیین دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز در نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

امیرحسین لادمخی نژاد[۱]- المیرا محمدوند[۲*]- جعفر اصغری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴

چکیده

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار شامل وجین علف‌های هرز (تیمارهای عاری از علف‌هرز) و نیز تداخل علف‌های هرز (تیمارهای آلوده به علف‌هرز) طی ۱۶، ۳۲، ۴۸، ۶۴، ۸۰ و ۹۶ روز ابتدای فصل رشد (از زمان کاشت نعناع فلفلی) با سه تکرار اجرا شد. گونه‌های غالب علف‌هرز عبارت از سوروف (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.)، دم‌روباهی زرد (*Setaria glauca* (L.) Beauv.)، اویارسلام یک‌ساله (*Cyperus difformis* L.)، علف خرچنگ (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop)، بندواش (*Paspalum distichum* L.)، توق (*Xanthium strumarium* L.)، فرفیون (*Euphorbia indica* Lam.)، و تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) بودند. در تیمارهایی که ۳۲ تا ۹۶ روز ابتدای فصل رشد عاری از علف‌هرز بودند و نیز تیمارهایی که فقط ۱۶ و یا ۳۲ روز ابتدای فصل رشد در شرایط آلوده به علف‌هرز قرار گرفتند، بیشترین ارتفاع (۷۱/۲ سانتی‌متر) و عملکرد بیولوژیک (۱۸۷۰ کیلگرم در هکتار) نعناع فلفلی مشاهده شد. تعداد نهایی گره در ساقه (۲۲ گره) تحت تأثیر کنترل و یا تداخل علف‌های هرز قرار نگرفت. در تیمارهایی که ۳۲ تا ۹۶ روز وجین دستی علف‌های هرز صورت گرفت و نیز تیمارهایی که ۱۶ تا حداکثر ۴۸ روز آلوده به علف‌هرز بودند، بیشترین تعداد شاخه فرعی (۳۷/۱) مشاهده شد. بیشترین وزن خشک نعناع فلفلی هنگام برداشت نهایی (۱۹۳/۶۲ گرم در متر مربع) در تیمارهایی ثبت شد که ۴۸ تا ۹۶ روز وجین شده بودند و یا فقط ۱۶ تا ۳۲ روز ابتدای فصل رشد در شرایط آلوده به علف‌هرز قرار گرفته بودند. بیشترین مقدار درصد و عملکرد اسانس (۳/۳۸ درصد و ۶۸/۳۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای ۶۴، ۸۰ و ۹۶ روز عاری از علف‌هرز مشاهده شد. رقابت تمام فصل علف‌های هرز سبب کاهش ارتفاع، تعداد شاخه فرعی در بوته، عملکرد بیولوژیک، درصد اسانس و عملکرد اسانس نعناع فلفلی به‌ترتیب به میزان ۱۳/۵، ۶۱/۱، ۹۱/۳، ۸۶/۳ و ۹۸/۸ درصد نسبت به تیمار کنترل تمام‌فصل علف‌های هرز شد. این نتایج حاکی از اهمیت کنترل علف‌های هرز در نعناع فلفلی است؛ چنانکه با پذیرش ۵ درصد اُفت مجاز عملکرد، کنترل علف‌های هرز از ۲۲ تا ۴۹ روز و با پذیرش ۱۰ درصد اُفت عملکرد، کنترل از ۲۹ تا ۴۲ روز پس از کاشت گیاهچه‌های نعناع فلفلی ضروری بود.

واژه‌های کلیدی: تابع گامپرتز، دوره بحرانی رقابت علف‌های هرز، گیاهان دارویی، مدیریت علف‌های هرز، معادله لجستیک

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استادیار و استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mohammadvand@guilan.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jpp.2023.71514.1035

مقدمه

نعناع فلفلی با نام علمی (*Mentha piperita* L.) گیاهی علفی و چندساله از تیره نعناعیان و یکی از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی می باشد (Hedge, 1982; Shah and D'Mello, 2004). حدود ۴۰ گونه از جنس نعناع در جهان شناسایی‌شده است (Yadav *et al.*, 2019). در میان گیاهان دارویی جمع‌آوری‌شده در استان گیلان، تیره نعناعیان ۱۲ جنس و ۲۳ گونه را به خود اختصاص دادند (Akbarzadeh *et al.*, 2010). مهم‌ترین ترکیبات شیمیایی اسانس برگ‌های نعناع فلفلی شامل منتول، منتون، منتوفوران و متیل استات می‌باشد (Maffei *et al.*, 1988). اسانس گیاه جهت مصارف دارویی از قسمت‌های هوایی گیاه در آغاز مرحله گلدهی و با روش تقطیر با بخار آب به دست می‌آید و به‌گونه‌ای استاندارد می‌شود که حاوی حداقل ۴۴ درصد منتول، ۱۵ تا ۳۰ درصد منتون و ۵ درصد استر به علاوه انواع ترپنوئیدها باشد (Kumar *et al.*, 2004). مقدار منتول معیار اصلی در تعیین کیفیت اسانس نعناع فلفلی است (*Aflatuni et al.*, 2005). علاوه بر مصارف دارویی، غذایی و آرایشی و بهداشتی (Mahmoudzadeh *et al.*, 2015; Niakan *et al.*, 2004) فعالیت حشره‌کشی و علف‌کشی ترکیبات اسانس نعناع فلفلی در مطالعات آزمایشگاهی تایید شده و جهت کاربرد در کشاورزی مورد توجه روز افزون قرار گرفته است (Kalemba and Synowiec, 2020). اهمیت ترکیبات طبیعی جهت جایگزینی آفت‌کش‌های شیمیایی در راستای کاهش اثرات منفی آنها بر سلامت انسان و محیط‌زیست سبب افزایش تلاش‌ها برای توسعه و تجاری‌سازی فراورده‌های طبیعی با عنوان آفت‌کش‌های سبز شده است (Verdeguer *et al.*, 2020).

انواع عوامل زیستی و غیرزیستی بر رشد، کمیت و کیفیت متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی موثر هستند (Russo *et al.*, 2013). عوامل محیطی مختلف از جمله میزان مواد غذایی موجود در خاک، شرایط اقلیمی منطقه کاشت (از جمله ارتفاع، دما و بارندگی) و زمان برداشت از جمله عوامل مهم تاثیرگذار روی میزان متابولیت‌های ثانویه گیاه می‌باشند. کمیت و کیفیت ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس تحت تأثیر شرایط و عوامل محیطی نظیر کودهای شیمیایی (Castro *et al.*, 2010)، مناطق جغرافیایی (Mahboubi and Kazempour, 2014)، عوامل ژنتیکی و شرایط محیط رشد و مراحل رشد و نمو گیاه (Verma *et al.*, 2010) قرار می‌گیرد.

یکی از عوامل مهم تاثیرگذار بر رشد و تولید گیاهان در سیستم‌های تولید، رقابت علف‌های هرز است. رقابت علف‌های هرز با گیاهان زراعی در جذب منابع می‌تواند منجر به از دست رفتن بخش قابل توجهی از عملکرد محصول شود. میزان خسارت واردشده به گیاه زراعی بر اثر تداخل علف‌های هرز، بسته به مرحله و طول دوره رقابت گیاه زراعی و علف‌هرز متغیر است (Gibson and Liebman, 2003). رشد زودتر گیاه زراعی نسبت به علف‌های هرز می‌تواند تا حد زیادی توازن رقابتی را به نفع گیاه زراعی در برابر علف‌های هرز تغییر دهد (Mohler, 2001). آگاهی از اثرات دوره حضور و رقابت علف‌های هرز با گیاهان زراعی، در طراحی برنامه‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز موثر خواهد بود.

دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز، مدت زمانی طی فصل رشد گیاه زراعی است که کنترل علف‌های هرز برای جلوگیری از کاهش عملکرد ضروری می‌باشد (Kenzevic *et al.*, 2002; 2003). حضور علف‌های هرز در این دوره بیشترین خسارت را به عملکرد وارد می‌کنند (Omafra, 2006). در تعیین دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز با بهره‌گیری از معادلات غیرخطی، درصد افزایش یا کاهش عملکرد به ازای هر روز افزایش دوره کنترل یا تداخل علف‌های هرز محاسبه می‌شود. مطالعات دوره بحرانی در بعضی گیاهان دارویی نظیر زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) (Hosseini *et al.*, 2006)، رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) (Khuram *et al.*, 2009)، مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) (Setvati-nayyeri *et al.*, 2014)، سیاه‌دانه (*Nigella Sativa* L.) (Seyedi *et al.*, 2011)، و آویشن (*Thymus vulgaris* L.) (Khazaie *et al.*, 2012) انجام شده است. تفاوت در توان رقابتی ارقام و گونه‌های مختلف گیاهان زراعی و نیز ویژگی‌های متفاوت جوامع علف‌های هرز در مناطق مختلف سبب می‌شود تا دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز در گیاهان زراعی مختلف و حتی در یک گیاه زراعی در مناطق مختلف متفاوت باشد (Aghaalikhani *et al.*, 2005).

نظر به اهمیت روزافزون گیاهان دارویی جهت تولید و استخراج مواد اولیه (Mehta *et al.*, 2009) و نیز اهمیت حضور علف‌های هرز در کاهش عملکرد گیاهان دارویی که با محدودیت کاربرد علفکش‌ها نیز مواجه هستند، بررسی جنبه‌های مختلف موثر در رقابت علف‌های هرز با گیاهان دارویی ضرورت بیشتری می‌یابد. لذا این پژوهش به منظور دست‌یابی به اطلاعاتی در زمینه اثر زمان آغاز و طول دوره رقابت علف‌های هرز بر عملکرد نعناع فلفلی و تعیین دوره بحرانی رقابت علف‌های هرز که می‌تواند در راستای فراهمی امکان بهره‌گیری از رهیافت‌های متنوع در برنامه‌های مدیریت تلفیقی و نیز بهبود استراتژی‌های کنترل علف‌های‌هرز به‌کار رود، به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گیلان با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و

۱۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۲۹ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد طی بهار و تابستان ۱۳۹۶ با میانگین دمای ۲۱/۲۷ درجه سانتی‌گراد طی رشد نعناع فلفلی به اجرا درآمد.

طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار بود. دو سری تیمار تحت عنوان تیمارهای عاری از علف‌هرز (کنترل از طریق وجین دستی) و تیمارهای آلوده به علف‌هرز (تداخل) در نظر گرفته شد. در تیمارهای عاری از علف‌هرز، وجین دستی علف‌های هرز به ترتیب از ابتدای فصل رشد تا ۱۶، ۳۲، ۴۸، ۶۴، ۸۰ و ۹۶ روز پس از کاشت در مزرعه انجام‌شده و سپس تا زمان برداشت به علف‌های هرز اجازه رشد و رقابت با نعناع فلفلی داده شد. در تیمارهای تداخل به ترتیب از ابتدای فصل رشد تا ۱۶، ۳۲، ۴۸، ۶۴، ۸۰ و ۹۶ روز پس از کشت به علف‌های هرز اجازه رشد و رقابت با نعناع فلفلی داده شد و پس از آن تا زمان برداشت وجین دستی علف‌های هرز انجام گرفت. طولانی‌ترین دوره کنترل و تداخل به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد.

عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی زمین زراعی، پس از گاورو شدن زمین و قبل از پیاده‌سازی طرح آزمایش با انجام شخم برگردان‌دار، یکبار دیسک و سپس تسطیح زمین صورت گرفت. آنالیز بافت خاک با تهیه نمونه مرکبی از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه و انتقال آن به آزمایشگاه خاک و آب دانشکده کشاورزی انجام‌شده و برای توصیه کودی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). کوددهی به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره (۴۶٪ نیتروژن)، ۷۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل (۴۶٪ اکسید فسفر) و ۹۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (۵۰٪ درصد اکسید پتاسیم) قبل از کشت به‌صورت شیاری انجام گرفت.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical analysis of the study location

بافت خاک Soil texture	درصد رس Clay (%)	درصد سیلت Silt (%)	درصد شن Sand (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation exchange Capacity Meq.100^{-1}	پتاسیم قابل‌جذب Absorbable Potassium (mg.kg^{-1})	فسفر قابل‌جذب Absorbable Phosphorus (mg.kg^{-1})	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته خاک Soil pH	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS.m^{-1})
Clay loam	36	52	12	26	208	31.5	0.137	1.7	6.54	1.25

هر کرت به ابعاد ۳/۵×۲ متر (۷ متر مربع) شامل ۷ ردیف کاشت هر یک به طول ۲ متر و فاصله بین‌ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود. برای تمایز کرت‌ها درون هر بلوک، ۵۰ سانتی‌متر فاصله و برای تمایز بلوک‌ها یک متر فاصله بین آن‌ها لحاظ شد. کاشت دستی گیاهچه‌های نعناع فلفلی که دارای طول ساقه حدود ۸-۶ سانتی‌متر بودند، به فاصله ۲۰ سانتی‌متر (تراکم ۱۰ بوته در متر مربع) در عمق ۸ تا ۱۰ سانتی‌متری خاک در اواسط اردیبهشت‌ماه صورت گرفت. اولین آبیاری قبل از کاشت و سپس یک روز در میان تا اطمینان از استقرار گیاهچه‌ها انجام شد و پس‌ازآن با توجه به نیاز گیاه تکرار شد.

نمونه‌برداری تخریبی جهت بررسی ویژگی‌های جامعه علف‌های هرز با استفاده از استقرار کادر ۰/۵×۰/۵ متری در هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای صورت گرفت. ارزیابی در کرت‌های آلوده به علف‌هرز ۱۶، ۳۲، ۴۸، ۶۴، ۸۰ و ۹۶ روز پس از کاشت نعناع فلفلی انجام شد. در هر نمونه‌برداری، تعداد بوته متعلق به گونه‌های علف‌هرز به تفکیک شمارش شد و سپس به‌منظور تعیین وزن خشک علف‌های هرز، بوته‌ها کف‌بُرشده و به تفکیک گونه درون پاکت‌های کاغذی قرار گرفته و در آون الکتریکی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک‌شده و با ترازوی دیجیتال توزین شدند.

نمونه‌برداری از نعناع فلفلی در شش مرحله طی فصل رشد صورت گرفت، به‌طوری‌که هر نمونه‌برداری بلافاصله قبل از هر وجین و آخرین نمونه‌برداری در هنگام برداشت انجام شد. در نمونه‌برداری‌های میان‌فصل دو بوته و در مرحله آخر نمونه‌برداری ده بوته برداشت شد و میانگین صفت موردنظر در بوته‌های برداشت‌شده به‌عنوان مقدار صفت ثبت شد. در هر مرحله از نمونه‌برداری، طول بلندترین ساقه در بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد گره در بلندترین ساقه و وزن خشک اندام هوایی نعناع فلفلی اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین وزن خشک نعناع فلفلی، در هر مرحله نمونه‌برداری بوته‌ها کف‌بُرشده و درون پاکت‌های کاغذی در آون الکتریکی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. در آخرین نمونه‌برداری (مرحله ۵۰ درصد گلدهی)، از آنجا که ادامه رشد بوته‌ها برای چین بعدی مدنظر بود، برداشت بوته‌ها به فاصله ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک انجام شد. برداشت نعناع فلفلی به جهت استحصال اسانس در زمان ۵۰ درصد گلدهی کرت شاهد با دست صورت گرفت و علاوه بر صفات مذکور، اسانس هر کرت نیز اندازه‌گیری شد.

استخراج اسانس

برای استخراج اسانس از روش تقطیر با آب استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری اسانس مقدار ۴۲ گرم از اندام‌های هوایی (برگ‌ها، سرشاخه‌ها، ساقه‌ها و گل‌ها) خشک‌شده‌ی نعناع فلفلی در دمای ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد به همراه ۵۰۰ سی‌سی آب مقطر درون بالن مخصوص دستگاه اسانس‌گیر (کلونجر) ریخته و عمل اسانس‌گیری با

حرارت‌دادن بالن محتوی آب و گیاه شروع شده و برای هر نمونه به مدت سه ساعت ادامه یافت. پس از سردشدن دستگاه حدود نیم ساعت حجم اسانس استخراج‌شده از طریق شیر تخلیه با دقت به‌طوری‌که با آب مخلوط نشود خارج گردید. در صورت مخلوط‌شدن اسانس با آب از ماده سوپر جاذب آب سدیم کربنات برای خشک‌کردن اسانس استفاده شد (Charles and Simon, 1990). درصد اسانس براساس اسانس حاصل شده از ۴۲ گرم ماده خشک محاسبه و به‌صورت درصد (میلی‌لیتر اسانس در ۱۰۰ گرم ماده خشک) گزارش شد. برای به‌دست آوردن عملکرد اسانس، درصد اسانس مربوط به هر کرت در عملکرد بیولوژیک ضرب شد.

تعیین دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز

برای تعیین دوره بحرانی تداخل علف‌های هرز، از مدل گامپرتز و لجستیک استفاده شد. تابع گامپرتز چهارپارامتره (معادله ۱) به داده‌های عملکرد نسبی سری عاری از علف‌هرز برازش داده شد.

$$Y = C + D \exp\left(-\exp\left(-\frac{t-A}{B}\right)\right) \quad \text{(معادله ۱)}$$

در این مدل Y عبارت از عملکرد بیولوژیک برحسب درصدی از تیمار عاری از علف‌های هرز، C مجانب پایینی منحنی برای عملکرد (حداقل عملکرد در شرایط آلوده به علف‌هرز)، D اختلاف مجانب بالایی و پایینی منحنی، exp ثابت ریاضی e یا ثابت نپر (پایه لگاریتم طبیعی)، t زمان (برحسب روز پس از کشت نعناع فلفلی) و A و B پارامترهای تعیین‌کننده شکل منحنی است (Halford *et al.*, 2001; Smitchger *et al.*, 2012).

مدل لجستیک چهار پارامتره (معادله ۲) به داده‌های عملکرد نسبی سری آلوده به علف‌های هرز برازش داده شد.

$$Y = C + D/(1 + \exp(-A + Bt)) \quad \text{(معادله ۲)}$$

در این مدل Y عبارت از عملکرد بیولوژیک برحسب درصدی از تیمار عاری از علف‌هرز، C مجانب پایینی منحنی، D اختلاف مجانب بالایی و پایینی منحنی، exp ثابت ریاضی e یا ثابت نپر (پایه لگاریتم طبیعی)، A و B پارامترهای تعیین‌کننده شکل منحنی، و t زمان (برحسب روز پس از کشت نعناع فلفلی) است (Martin *et al.*, 2001; Ratkowsky, 1990).

محاسبات آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SAS, 9.2 و مقایسه میانگین‌ها بر اساس LSD محافظت‌شده در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و نمودارها در نرم‌افزار Excel و Sigmaplot, ver 12 ترسیم شد.

نتایج و بحث

بررسی جامعه علف‌های هرز

در بررسی ترکیب گونه‌ای علف‌های هرز مزرعه نعناع فلفلی چهار گونه از تیره گندمیان (Poaceae) و یک گونه متعلق به هریک از تیره‌های اویارسلام (Cyperaceae)، مینا (Asteraceae)، تاج‌خروس (Amaranthaceae) و فرفیون (Euphorbiaceae) بود. از هشت گونه غالب مشاهده‌شده، پنج گونه باریک‌برگ، سه گونه پهن‌برگ و یک‌گونه جگن و عبارت از گونه‌های سوروف (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.)، دم‌روباهی زرد (*Setaria glauca* (L.) Beauv.)، اویارسلام یک‌ساله (*Cyperus difformis* L.)، علف خرچنگ (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.)، بنداواش (*Paspalum distichum* L.)، توق (*Xanthium strumarium* L.)، فرفیون (*Euphorbia indica* Lam.)، و تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) بود (جدول ۲). فراوانی این علف‌های هرز در کرت‌های آلوده به علف‌هرز طی فصل رشد به‌ترتیب براساس تراکم و وزن خشک برای سوروف ۴۹ و ۴۲ درصد، برای دم‌روباهی زرد ۲۳ و ۲۶ درصد، برای اویارسلام ۱۴ و ۱۷ درصد، برای علف‌خرچنگ ۱۰ و ۱۱ درصد ثبت شد. حضور علف‌های هرز بنداواش، توق، فرفیون و تاج‌خروس ریشه قرمز تنها در برخی کرت‌های آزمایشی و در بازه زمانی کوتاه و به تعداد بسیار کم با فراوانی ۴ درصد بود. حضور گونه‌های علف‌هرز تاج‌خروس ریشه‌قرمز، سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.)، گاو زبان بدل (*Anchusa italica* Retz.) و علف‌شور (*Salsola kali* L.) در تمام کرت‌های نعناع فلفلی در شرایط اردبیل گزارش شد (Didehbaz Moghanlo *et al.*, 2019).

صفات گیاه زراعی

ارتفاع بوته

در نمونه‌برداری اول (۱۶ روز بعد از کشت) طول ساقه در تیمارهای عاری از علف‌هرز بیشتر از تیمارهای آلوده به علف‌هرز بود. از آنجا که تا ۱۶ روز بعد از کاشت در همه تیمارهای سری عاری از علف‌هرز، وجین دستی انجام شده بود و همه تیمارهای تداخل نیز در شرایط آلوده به علف‌هرز بودند، لذا تفاوت مشاهده‌شده درون هر سری، مربوط به تفاوت طول گیاهچه‌های منتقل شده بود؛ چنانکه در نمونه‌برداری دوم (۳۲ روز بعد از کشت) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در نمونه‌برداری سوم (۴۸ روز پس از کاشت) تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای سری عاری از علف‌هرز (تیمارهای ۳۲، ۴۸، ۶۴، ۸۰، ۹۶ روز عاری از علف‌هرز) با یکدیگر دیده نشد (۳۵/۶۹ سانتی‌متر)؛ اگرچه در اکثر تیمارهای سری آلوده به علف‌هرز افزایش طول ساقه مشاهده شد.

جدول ۲- نام علمی و گروه‌های کارکردی علف‌های‌هرز غالب مشاهده شده در مزرعه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Table 2- Scientific name and functional groups of dominant weed species observed in peppermint field (*Mentha piperita* L.)

	نام عمومی Common name	نام علمی Scientific name	نام تیره Family name	چرخه‌زندگی Life cycle	شکل‌رویشی Vegetative form	مسیرفتوسنتزی Photosynthetic pathway	درجه سماجت Degree of noxiousness
1	سوروف Barnyardgrass	*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.	گندمیان Poaceae	یک‌ساله Annual	باریک‌برگ Narrow-leaf	چهار کربنه C4	سمج Noxious
2	دم‌روباهی زرد Yellow foxtail	*Setaria glauca* (L.) Beauv.	گندمیان Poaceae	یک‌ساله Annual	باریک‌برگ Narrow-leaf	چهار کربنه C4	سمج Noxious
3	اویارسلام یک‌ساله Smallflower nutsedge	*Cyperus difformis* L.	جگنیان Cyperaceae	یک‌ساله Annual	جگن Sedge	چهار کربنه C3	سمج Noxious
4	علف‌خرچنگ Crabgrass	*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.	گندمیان Poaceae	یک‌ساله Annual	باریک‌برگ Narrow-leaf	چهار کربنه C4	سمج Noxious
5	بندواش Knotgrass	*Paspalum distichum* L.	گندمیان Poaceae	چندساله Perennial	باریک‌برگ Narrow-leaf	چهار کربنه C4	سمج Noxious
6	توق Common cocklebur	*Xanthium strumarium* L.	کاسنی Asteraceae	یک‌ساله Annual	پهن‌برگ Broad-leaf	سه کربنه C3	سمج Noxious
7	فرفیون Spurge	*Euphorbia indica* Lam.	فرفیون Euphorbiaceae	یک‌ساله Annual	پهن‌برگ Broad-leaf	سه کربنه C3	غیر سمج Non-noxious
8	تاج‌خروس ریشه قرمز Redroot pigweed	*Amaranthus retroflexus* L.	تاج‌خروس Amaranthaceae	یک‌ساله Annual	پهن‌برگ Broad-leaf	چهار کربنه C4	سمج Noxious

در این مرحله طول ساقه در تیماری که تنها ۱۶ روز ابتدای فصل رشد آلوده به علف‌هرز بود و سپس وجین شد، فاقد تفاوت معنی‌دار با سری عاری از علف‌هرز بود و تیمارهایی که از ابتدای فصل رشد تا روز نمونه‌برداری آلوده به علف‌هرز باقی مانده بودند (تیمارهای ۴۸، ۶۴، ۸۰ و ۹۶ روز آلوده به علف‌هرز)، بیشترین طول ساقه (۴۷/۳۳ سانتی‌متر) را داشتند. به نظر می‌رسد در این مرحله رقابت بین گیاه زراعی و علف‌های هرز شروع شده و در پاسخ به شروع رقابت طول بوته‌های نعناع فلفلی افزایش یافت. ۶۴ روز پس از کاشت (نمونه‌برداری چهارم) تفاوت معنی‌داری بین تیمارها وجود نداشت. به نظر می‌رسد افزایش رشد شاخساره نعناع فلفلی در شرایط بدون علف‌هرز با افزایش طول ساقه همراه بوده؛ درحالی‌که در تیمارهای آلوده به علف‌هرز که در مرحله قبل طول ساقه بیشتری داشتند، رقابت شدیدتر شده و افزایش طول ساقه کمتر بوده است. ۸۰ روز پس از کاشت (نمونه‌برداری پنجم) بیشترین طول ساقه در تیمارهایی که از ابتدای فصل رشد تا زمان نمونه‌برداری عاری از علف‌هرز بودند (۸۰ و ۹۶ روز عاری از علف‌هرز) به میزان ۶۲/۶ سانتی‌متر مشاهده شد. سایر تیمارها (۵۵/۴ سانتی‌متر) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. ۹۶ روز پس از کاشت (نمونه‌برداری ششم، هنگام برداشت) بیشترین طول ساقه نعناع فلفلی (۷۱/۲ سانتی‌متر) در تیمارهایی مشاهده شد که ۳۲ تا ۹۶ روز در ابتدای فصل رشد عاری از علف‌هرز بودند (تیمارهای ۳۲، ۴۸، ۶۴ و ۹۶ روز عاری از علف‌هرز) و یا تنها ۱۶ و ۳۲ روز در ابتدای فصل رشد در شرایط آلوده به علف‌هرز قرار داشتند. سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (طول ساقه ۶۴/۷ سانتی‌متر). به طور کلی طول نهایی ساقه در بوته‌های نعناع فلفلی در نتیجه رقابت با علف‌های هرز ۹/۱ درصد کاهش یافت. طول ساقه نعناع فلفلی در تیمارهایی با دوره کنترل طولانی‌تر، بیشتر از تیمارهایی با دوره رقابت طولانی‌تر بود (جدول ۳). علف‌های هرز با داشتن توانایی رقابتی بالاتر در استفاده از منابع، رشد بهتری داشته و قادر به توسعه ارتفاع خود در بالای کانوپی نعناع فلفلی شده‌اند. ارتفاع بوته از عوامل مؤثر بر عملکرد گیاه است. کاهش ارتفاع گیاه زراعی در اثر افزایش طول دوره رقابت علف‌های هرز گزارش شده است (Hussain *et al.*, 2019; *Kavurmaci et al.*, 2010)؛ اگرچه در برخی مطالعات رقابت با علف‌هرز سبب افزایش ارتفاع گیاه زراعی شده است؛ دلیل این امر را می‌توان به نوع و تراکم علف‌های هرز و نیز به نوع و گونه گیاه زراعی نسبت داد که شدت و نتیجه رقابت را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Amador-Ramirez, 2002). رقابت تمام‌فصل علف‌های هرز با نعناع ژاپنی (*Mentha arvensis* L.) ارتفاع نهایی بوته را در مقایسه با تیمار دوبار وجین دستی ۲۱ درصد کاهش داد (Walia *et al.*, 2007).

جدول ۳- اثر دوره حضور علف‌های هرز بر صفات نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Table 3- The effect of weed presence duration on peppermint (*Mentha piperita* L.) traits

		Sampling times (days after peppermint planting) مراحل نمونه‌برداری (روز بعد از کاشت نعناع فلفلی)					
		16	32	48	64	80	96
		طول ساقه Stem lenght (cm)					
دوره عاری از علف‌هرز از ابتدای فصل رشد Weed-free period from the beginning of the growing season	16	12.3 a	22.2	35.2 e	40.3	55.5 cd	64.4 c
	32	10.1 ab	18.7	35.7 de	43.7	54.3 d	70.0 ab
	48	10.2 abc	21.8	35.8 de	44.0	56.2 bcd	72.0 a
	64	9.7 bc	18.3	35.7 de	45.3	56.0 cd	72.0 a
	80	10.5 ab	19.2	35.7 de	48.5	62.8 a	70.0 ab
	96	12.0 ab	20.33	36.2 de	51.3	62.3 ab	72.1 a
دوره آلوده به علف‌هرز از ابتدای فصل رشد Weed-infested period from the beginning of the growing season	16	9.7 cd	16.7	36.7 de	49.2	53.0 d	72.2 a
	32	8.5 d	20.2	40.5 cd	50.5	57.0 bcd	70.3 ab
	48	9.7 cd	25.7	43.5 abc	49.7	54.3 d	64.5 c
	64	10.3 bc	24.0	46.3 a	47.0	55.7 cd	66.6 bc
	80	9.9 bcd	22.0	45.7 ab	46.0	57.7 bcd	65.7 bc
	96	8.3 d	24.2	44.3 abc	46.0	54.2 d	62.3 c
		تعداد شاخه فرعی در بوته Branch number in plant					
دوره عاری از علف‌هرز از ابتدای فصل رشد Weed-free period from the beginning of the growing season	16	5.50	14.2 abc	15.5 cd	13.67 c	16.6 d	17.6 d
	32	3.83	15.5 ab	28.2 a	26.33 ab	33.7 ab	36.3 ab
	48	5.50	12.2 abcd	27.5 a	31.83 ab	35.3 ab	36.1 ab
	64	3.83	14.3 abc	23.2 ab	26.33 ab	32.7 ab	37.9 a
	80	3.17	16.7 a	27.5 a	32.50 a	36.2 ab	38.6 a
	96	5.67	14.2 abc	29.7 a	31.67 ab	42.3 a	37.5 ab
دوره آلوده به علف‌هرز از ابتدای فصل رشد Weed-infested period from the beginning of the growing season	16	3.17	12.2 abcd	26.2 ab	35.83 a	35.0 ab	39.2 a
	32	3.67	9.3 cd	19.8 bc	26.67 ab	37.7 ab	36.7 ab
	48	6.17	10.0 bcd	13.3 de	20.50 bc	30.2 bc	34.2 ab
	64	5.50	7.3 d	7.3 e	9.50 c	21.3 cd	31.6 bc
	80	6.00	7.5 d	11.8 de	12.83 c	12.0 e	25.5 c
	96	4.17	6.7 d	8.3 de	10.67 c	6.6 e	14.6 d
		وزن خشک Dra matter ($gr.m^{-2}$)					
دوره عاری از علف‌هرز از ابتدای فصل رشد Weed-free period from the beginning of the growing season	16	5.93	17.5 a	37.7 cde	19.6 e	23.4 de	26.3 c
	32	3.78	15.2 abc	81.2 ab	85.1 bcd	140.8 bc	147.5 b
	48	3.02	18.5 a	94.1 a	123.5 ab	159.8 b	188.4 a
	64	2.73	13.0 abc	62.6 abc	129.5 a	142.3 bc	197.9 a
	80	3.53	15.8 ab	64.2 abc	118.4 a	199.1 a	203.9 a
	96	5.20	14.6 abc	97.0 a	131.2 a	174.4 ab	204.4 a
دوره آلوده به علف‌هرز از ابتدای فصل رشد Weed-infested period from the beginning of the growing season	16	1.70	13.7 abc	62.4 abc	91.7 abc	189.0 ab	194.7 a
	32	1.95	10.0 cd	30.6 cde	48.7 de	90.0 cd	172.6 a
	48	4.78	10.3 bcd	23.7 de	23.4 e	49.4 de	119.7 b
	64	4.73	10.4 bcd	22.8 e	15.3 e	18.4 e	50.9 c
	80	4.63	10.7 bcd	30.0 cde	19.2 e	22.8 de	25.2 c
	96	4.67	8.8 cd	24.6 de	18.1 e	9.4 e	17.8 c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با یکدیگر ندارند؛ تیمارهای عاری از و آلوده به علف‌های هرز از ابتدای فصل رشد تا ۱۶، ۳۲، ۴۸، ۶۴، ۸۰ و ۹۶ روز پس از کشت به‌ترتیب عاری از و آلوده به علف‌های هرز بودند.

Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the α=0.05 (LSD test); Weed-free and weed-infested treatments respectively were hand-weeded and un-weeded from the beginning of the growing season up to 16, 32, 48, 64, 80, and 96 days after crop planting.

تعداد شاخه فرعی در بوته

تفاوت تعداد شاخه فرعی در بوته بجز در نمونه‌برداری اول (۴/۷ شاخه فرعی در بوته)، در سایر نمونه‌برداری‌ها بین تیمارها معنی‌دار بود. ۳۲ روز بعد از کاشت، تعداد شاخه فرعی در تیمارهای سری عاری از علف‌هرز و نیز در تیماری که فقط ۱۶ روز ابتدای فصل رشد آلوده به علف‌هرز بود (۱۴/۲ شاخه فرعی در بوته)، بیشتر از تیمارهایی بود که تا این مرحله نمونه‌برداری در شرایط آلوده به علف‌هرز بودند (تیمارهای ۳۲، ۴۸، ۶۴ و ۹۶ روز آلوده به علف‌هرز). ۴۸ روز بعد از

کاشت، بیشترین تعداد شاخه فرعی در تیمارهایی مشاهده شد که از ابتدای فصل رشد تا ۳۲ روز پس از کاشت و یا از ابتدای فصل رشد تا روز نمونه‌برداری عاری از علف‌هرز بودند (تیمارهای ۳۲، ۴۸، ۶۴ و ۹۶ روز عاری از علف‌هرز) و همچنین در تیماری که فقط ۱۶ روز آلوده به علف‌هرز بود (میانگین ۲۷/۰). تعداد شاخه فرعی در تیماری که ۳۲ روز ابتدای فصل رشد آلوده به علف‌های هرز بود و سپس وجین شده بود، ۱۹/۸ و در تیمارهایی که تا روز نمونه‌برداری (۴۸ روز پس از کاشت) همچنان آلوده به علف‌هرز باقی مانده بودند، ۱۰/۱ شاخه فرعی در بوته بود. ۶۴ و ۸۰ روز بعد از کاشت، بیشترین تعداد شاخه فرعی (۳۰/۲ و ۳۶/۱ شاخه فرعی در بوته) در تیمارهایی مشاهده شد که بیشتر از ۳۲ روز در شرایط عاری از علف‌هرز قرار گرفته بودند (تیمارهای ۳۲، ۴۸، ۶۴ و ۹۶ روز عاری از علف‌هرز) و یا کمتر از ۳۲ روز آلوده به علف‌هرز بودند (تیمارهای ۱۶ و ۳۲ روز آلوده به علف‌هرز). تعداد شاخه فرعی در بوته در تیمارهایی که تا روز نمونه‌برداری همچنان در شرایط آلوده به علف‌هرز قرار داشتند، به‌ترتیب ۱۱ و ۹/۴ شاخه فرعی در بوته بود. در هنگام برداشت نعناع فلفلی در ۹۶ روز پس از کاشت، بیشترین تعداد شاخه فرعی در تیمارهایی مشاهده شد که از ابتدای فصل رشد بیشتر از ۳۲ روز در شرایط عاری از علف‌هرز قرار گرفته بودند (تیمارهای ۳۲، ۴۸، ۶۴ و ۹۶ روز عاری از علف‌هرز) و نیز تیمارهایی که کمتر از ۴۸ روز آلوده به علف‌هرز بودند (تیمارهای ۱۶، ۳۲ و ۴۸ روز آلوده به علف‌هرز) (۳۷/۱ شاخه فرعی در بوته). تعداد شاخه فرعی در بوته در تیمار آلودگی تمام‌فصل (۱۴/۶ شاخه فرعی در بوته) و تیماری که تنها ۱۶ روز ابتدای فصل رشد وجین شد (۱۷/۶ شاخه فرعی در بوته)، کمترین مقدار بود (جدول ۳).

دوره طولانی‌تر حضور علف‌های هرز با تشدید رقابت بر سر منابع، کاهش جذب منابع برای نعناع فلفلی و کاهش توان تولید مواد فتوسنتزی در نعناع فلفلی را به دنبال داشته و درنتیجه میزان رشد و تولید شاخه فرعی کاهش یافته است. افزایش دوره‌های حضور علف‌های هرز در هر دو سری تیمار کنترل و تداخل علف‌هرز باعث کاهش روند تشکیل شاخه‌های جانبی در طول فصل رشد در گیاه سیاه‌دانه شده است (Seyedi *et al.*, 2011). حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2009) نیز نشان دادند که افزایش دوره‌های رقابت علف‌های هرز اثر معنی‌داری در کاهش تعداد شاخه جانبی در بوته سیاه‌دانه داشت. در رقابت تمام‌فصل علف‌های هرز با نعناع ژاپنی در مقایسه با تیمار دوبار وجین دستی تعداد شاخه در متر ردیف ۲۷ درصد کاهش یافت (Walia *et al.*, 2007).

تعداد گره در ساقه

تعداد نهایی گره در بلندترین ساقه بوته نعناع فلفلی در هنگام برداشت تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایش نداشت (۲۲ گره در بلندترین ساقه هر بوته). به نظر می‌رسد تعداد گره در بوته تحت تأثیر کنترل و یا تداخل علف‌های هرز (رقابت و عدم رقابت) قرار نمی‌گیرد، بلکه فاصله گره‌ها از یکدیگر یعنی طول میانگره در تعیین طول ساقه مهم است.

زیست‌توده طی فصل رشد

زیست‌توده بوته‌های نعناع فلفلی ۱۶ روز بعد از کاشت ۳/۸۸ گرم در مترمربع در همه تیمارها بود و ۳۲ روز بعد از کاشت بیشترین زیست‌توده (۱۵/۴۶ گرم در متر مربع) در سری تیمارهای عاری از علف‌هرز و نیز تیماری که فقط ۱۶ روز ابتدای فصل رشد آلوده به علف‌هرز بود، مشاهده شد. سایر تیمارها که پس از کاشت تا روز نمونه‌برداری (۳۲ روز) آلوده به علف‌هرز باقی مانده بودند، با ۳۵ درصد کاهش دارای زیست‌توده ۱۰/۰۵ گرم در متر مربع بودند. ۴۸ روز بعد از کاشت، بیشترین زیست‌توده (۷۶/۸۹ گرم در متر مربع) در تیمارهایی که بیشتر از ۳۲ روز عاری از علف‌هرز بودند (تیمارهای ۳۲، ۴۸، ۶۴ و ۹۶ روز عاری از علف‌هرز) و نیز تیماری که فقط ۱۶ روز ابتدای فصل رشد آلوده به علف‌هرز بود، مشاهده شد و کمترین زیست‌توده (۲۸/۲۱ گرم در متر مربع، ۶۳ درصد کاهش) در تیمارهایی که بیشتر از ۳۲ روز آلوده به علف‌هرز بودند (تیمارهای ۳۲، ۴۸، ۶۴ و ۹۶ روز آلوده به علف‌هرز) و نیز تیماری که فقط ۱۶ روز ابتدای فصل وجین شده و سپس بدون کنترل رها شده بود، مشاهده شد. ۶۴ روز بعد از کاشت در نمونه‌برداری چهارم، بیشترین زیست‌توده (۱۱۸/۸۶ گرم در متر مربع) در تیمارهایی که بیشتر از ۴۸ روز عاری از علف‌هرز بودند (تیمارهای ۴۸، ۶۴، ۸۰ و ۹۶ روز عاری از علف‌هرز) و نیز تیماری که فقط ۱۶ روز ابتدای فصل رشد آلوده به علف‌هرز بود، مشاهده شد. تیماری که فقط ۳۲ روز ابتدای فصل رشد وجین شده و سپس بدون کنترل رها شد، زیست‌توده ۸۵/۰۸ گرم در واحد سطح (۲۸ درصد کاهش) بود. کمترین زیست‌توده در شرایطی که علف‌های هرز بیشتر از ۴۸ روز با نعناع فلفلی رقابت کردند (تیمارهای ۴۸، ۶۴ و ۹۶ روز آلوده به علف‌هرز) (۲۴/۰۴ گرم در متر مربع، ۸۰ درصد کاهش) ثبت شد. ۸۰ روز بعد از کاشت در نمونه‌برداری پنجم، بیشترین زیست‌توده مربوط به تیمارهایی بود که تا روز نمونه‌برداری وجین شده بودند (۱۸۶/۷۶ گرم در مترمربع) و کمترین مقدار زیست‌توده (۲۴/۶۸ گرم در متر مربع) مربوط به تیمارهایی بود که از ابتدای فصل رشد به مدت بیش از ۴۸ روز در شرایط آلوده به علف‌هرز قرار گرفته بودند و نیز تیماری که از ۱۶ روز پس از کاشت تا روز نمونه‌برداری در شرایط آلوده به علف‌هرز قرار گرفته بود.

۹۶ روز بعد از کاشت و در هنگام برداشت نهایی که زیست‌توده نعناع فلفلی به بیشترین مقدار خود رسید، بیشترین زیست‌توده

(۱۹۳/۶۲ گرم در متر مربع) در تیمارهایی که ۴۸ روز ابتدای فصل رشد و یا بیشتر در شرایط عاری از علف‌هرز قرار گرفته بودند (تیمارهای ۴۸، ۶۴ و ۹۶ روز عاری از علف‌هرز) و یا تنها ۱۶ و ۳۲ روز از ابتدای فصل رشد در شرایط آلوده به علف‌هرز قرار داشتند (تیمارهای ۱۶ و ۳۲ روز آلوده به علف‌هرز)، مشاهده شد. کمترین زیست‌توده (۳۰/۰۶ گرم در متر مربع) در تیماری که از ۱۶ روز پس از کاشت تا انتهای فصل رشد در شرایط آلوده به علف‌هرز قرار داشت (تیمار ۱۶ روز عاری از علف‌هرز) و نیز در تیمارهایی که از ابتدای فصل رشد به مدت بیش از ۶۴ روز در شرایط آلوده به علف‌هرز قرار گرفته بودند (تیمارهای ۶۴ و ۹۶ روز آلوده به علف‌هرز) مشاهده شد (جدول ۳).

حضور علف‌های هرز در مزارع گیاهان زراعی باعث افت عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی می‌شود. در نعناع فلفلی نیز همانگونه که مشاهده شد ظهور و رقابت علف‌های هرز موجب کاهش تولید ماده خشک شد. در واقع علف‌های هرز با جذب منابع مشترک و محدود سبب نقصان فراهمی منابع می‌شوند که کاهش رشد و عملکرد گیاه را به دنبال خواهد داشت. میزان این کاهش تحت تأثیر طول دوره حضور علف‌های هرز قرار می‌گیرد؛ چنانکه با افزایش طول دوره حضور علف‌های هرز تبعات آن نیز افزایش می‌یابد. حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2009) اظهار داشتند که افزایش طول دوره رقابت علف‌های هرز اثر معنی‌داری در کاهش عملکرد بیولوژیک سیاه‌دانه داشت. رقابت تمام‌فصل علف‌های هرز در مقایسه با تیمار سه‌بار وجین دستی به‌ترتیب سبب کاهش ۷۰ و ۸۰ درصدی وزن تر و وزن خشک نعناع ژاپنی شد (Yadav *et al.*, 2019).

عملکرد بیولوژیک، درصد و عملکرد اسانس نعناع فلفلی

عملکرد بیولوژیک: نعناع فلفلی در تیمار کنترل تمام‌فصل علف‌های هرز، ۲۰۴۴ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک نعناع فلفلی (۱۸۷۰ کیلگرم در هکتار) در تیمارهایی مشاهده شد که از ابتدای فصل رشد بیشتر از ۳۲ روز عاری از علف هرز بودند و همچنین تیمارهایی که کمتر از ۳۲ روز آلوده به علف‌هرز بودند. با بررسی سری عاری از علف‌هرز می‌توان دریافت که عدم کنترل علف‌های هرز در ۱۶، ۳۲، ۴۸ و ۶۴ روز انتهای فصل رشد به‌ترتیب سبب ۰/۳، ۳/۲، ۷/۸ و ۲۷/۹ درصد کاهش عملکرد بیولوژیک نعناع فلفلی شده است؛ درحالی‌که وقتی کنترل تنها در ۱۶ روز ابتدای فصل رشد صورت گرفته و پس از آن رها شد (عدم کنترل در ۸۰ روز انتهای فصل رشد) عملکرد بیولوژیک نعناع فلفلی ۸۷/۲ درصد کاهش یافت. رقابت تمام فصل علف‌های هرز عملکرد بیولوژیک نعناع فلفلی را ۹۱/۳ درصد کاهش داد. عدم کنترل علف‌های هرز در سری آلوده به علف‌هرز تا ۱۶، ۳۲، ۴۸، ۶۴ و ۸۰ روز از ابتدای فصل رشد به‌ترتیب موجب ۴/۸، ۱۵/۶، ۴۱/۵، ۷۵/۱ و ۸۷/۷ درصد کاهش عملکرد بیولوژیک نعناع فلفلی شد (جدول ۴).

درصد اسانس: در تیمارهایی که از ابتدای فصل رشد تا ۶۴، ۸۰ و ۹۶ روز پس از کاشت عاری از علف‌هرز بودند، بیشترین مقدار (۳/۳۸ درصد) بود. کمترین درصد اسانس مربوط به تیمار آلودگی تمام‌فصل علف‌های هرز با ۸۶ درصد کاهش به میزان ۰/۴۸ درصد بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد رقابت تمام‌فصل علف‌های هرز سبب کاهش تولید اسانس به ازای واحد وزن خشک نعناع فلفلی می‌شود.

عملکرد اسانس: در تیمارهایی که از ابتدای فصل رشد تا ۶۴، ۸۰ و ۹۶ روز پس از کاشت عاری از علف‌هرز بودند، بیشترین مقدار (۶۸/۳۰ کیلوگرم در هکتار) بود. کمترین عملکرد اسانس در تیمار آلودگی تمام‌فصل علف‌های هرز و تیمارهایی که از ابتدای فصل رشد تا ۶۴ و ۸۰ روز پس از کاشت در شرایط رقابت بودند و نیز تیماری که تنها ۱۶ روز ابتدای فصل وجین شده و سپس رها شده بود، مشاهده شد (میانگین ۴/۴ کیلوگرم در هکتار) (جدول ۴).

علفهای هرز عامل مهمی در کاهش عملکرد نعناع فلفلی به‌شمار می‌روند؛ چنانکه در جمعیت‌های بالا می‌توانند تا ۴۰ درصد سبب کاهش عملکرد شوند. علاوه بر آن ممکن است سبب کاهش کیفیت اسانس نعناع شوند (Sabra and Mahmoud, 2015). علف‌های هرز با سایه‌اندازی و کاهش نور در دسترس و نیز با رقابت در جذب آب و عناصر غذایی با رشد گیاه زراعی تداخل ایجاد کرده و سبب کاهش پارامترهای رشدی و در نهایت عملکرد آن می‌شوند. به همین ترتیب با طولانی‌ترشدن دوره حضور علف‌های هرز، طول دوره رقابت بر سر منابع نیز افزایش یافته و اثرات منفی تداخل بر تولید محصول افزایش می‌یابد. عملکرد بیولوژیک نعناع ژاپنی درنتیجه رقابت تمام‌فصل علف‌های هرز ۳۲ درصد نسبت به تیمار دوبار وجین دستی کاهش یافت (Walia *et al.*, 2007). در مطالعه دیگری رقابت تمام‌فصل علف‌های هرز عملکرد روغن نعناع ژاپنی را نسبت به تیمار سه‌بار وجین دستی ۷۱ درصد (Yadav *et al.*, 2019) و نسبت به تیمار دوبار وجین دستی ۳۲ درصد (Walia *et al.*, 2007) کاهش داد.

دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز

با برازش توابع گامپرز و لجستیک (جدول ۵ و شکل ۱)، دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز نعناع فلفلی با پذیرش ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد کاهش عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب از ۲۲ تا ۴۹، ۲۷ تا ۴۵ و ۲۹ تا ۴۲ روز پس از کاشت گیاهچه‌های نعناع فلفلی بود (جدول ۶).

در رازیانه ضمن مشاهده افزایش تلفات عملکرد دانه با افزایش دوره رقابت علف‌های هرز، کنترل تا ۵۰ روز پس از سبزشدن رازیانه جهت جلوگیری از تلفات شدید عملکرد ضرورت داشت (Mubeen *et al.*, 2009).

جدول ٤- اثر دوره حضور علف‌های هرز بر صفات نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در هنگام برداشت

Table 4- The effect of weed presence duration on peppermint (*Mentha piperita* L.) traits at harvest

		عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg/ha)	درصد اسانس Essence percentage (%)	عملکرد اسانس Essence yield (kg/ha)
دوره عاری از علف‌هرز از ابتدای فصل رشد Weed-free period from the beginning of the growing season	16	262.6c	1.51e	3.73e
	32	1474.7ab	2.14c	39.45c
	48	1883.8a	2.38bc	44.85bc
	64	1978.7a	3.17ab	63.14ab
	80	2038.6a	3.49a	71.87a
	96	2043.9a	3.49a	69.90a
دوره آلوده به علف‌هرز از ابتدای فصل رشد Weed-infested period from the beginning of the growing season	16	1946.7a	2.05c	40.20c
	32	1725.9a	2.22c	41.05c
	48	1196.6b	2.38bc	27.84cd
	64	509.3c	1.75de	8.54de
	80	252.3c	1.75de	4.48e
	96	178.2c	0.48f	0.85e

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد با یکدیگر ندارند؛ تیمارهای عاری از و آلوده به علف‌های هرز از ابتدای فصل رشد تا ۱۶، ۳۲، ۴۸، ۶۴، ۸۰ و ۹۶ روز پس از کشت به‌ترتیب عاری از و آلوده به علف‌های هرز بودند.

Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the α=0.05 (LSD test); Weed-free and weed-infested treatments respectively were hand-weeded and un-weeded from the beginning of the growing season up to 16, 32, 48, 64, 80, and 96 days after crop planting.

با افزایش دوره رقابت علف‌های هرز با زیره سبز عملکرد این گیاه کاهش و با افزایش دوره عاری از علف‌هرز عملکرد افزایش یافت و دوره بحرانی این گیاه بین ۲۲ تا ۳۹ روز پس از کاشت تعیین شد (Kumar, 2001). در آزمایش دیگری حذف علف‌های هرز از ۲۴ تا ۳۸ روز پس از سبزشدن، مانع کاهش عملکرد زیره سبز شد (Hosseini *et al.*, 2006).

در سیاه‌دانه شروع دوره بحرانی در سه سطح ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد افت عملکرد قابل قبول به‌ترتیب ۱۱، ۱۳ و ۱۷ روز و پایان دوره بحرانی ۷۷، ۷۵ و ۷۱ پس از سبز شدن سیاه‌دانه تعیین شد (Seyedi *et al.*, 2011). در آویشن دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز براساس کاهش عملکرد وزن‌تر پیکر رویشی به‌میزان ۵ درصد بین ۴۱ تا ۹۰ روز و به‌میزان ۱۰ درصد بین ۵۴ تا ۷۶ روز و براساس کاهش عملکرد وزن خشک پیکر رویشی به‌میزان ۵ درصد بین ۱۲ تا ۹۴ روز و به‌میزان ۱۰ درصد بین ۲۹ تا ۷۸ روز پس از آغاز فصل رشد محاسبه شد (Khazaie *et al.*, 2012). در مریم‌گلی دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز بر اساس ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد کاهش عملکرد قابل‌قبول، به‌ترتیب ۷۶، ۶۰ و ۵۳ روز بود (Setvati nayyeri *et al.*, 2014). در اسفرزه دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز با پذیرش ۱۰ و ۵ درصد کاهش عملکرد به ترتیب ۲۱ تا ۵۲ روز و ۲۶ تا ۳۸ روز پس از کاشت بود (Sharifi noori and Ebadi, 2009).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با کاهش طول دوره عاری از علف‌های هرز و نیز افزایش طول دوره آلوده به علف‌های هرز، رشد و عملکرد نعناع فلفلی کاهش یافت. اگرچه تعداد گره در شاخه فرعی تحت تأثیر تداخل علف‌های هرز قرار نگرفت؛ اما رقابت تمام فصل علف‌های هرز سبب کاهش ارتفاع، تعداد شاخه فرعی در بوته، عملکرد بیولوژیک، درصد اسانس و عملکرد اسانس نعناع فلفلی به‌ترتیب به میزان ۱۳/۵، ۶۱/۱، ۹۱/۳، ۸۶/۳ و ۹۸/۸ درصد نسبت به تیمار کنترل تمام‌فصل علف‌های هرز شد. این نتایج حاکی از اهمیت کنترل علف‌های هرز در نعناع فلفلی است، چنان‌که با پذیرش ۵ درصد اُفت عملکرد، کنترل علف‌های هرز از ۲۲ تا ۴۹ روز و با پذیرش ۱۰ درصد اُفت عملکرد، کنترل از ۲۹ تا ۴۲ روز پس از کاشت گیاهچه‌های نعناع فلفلی ضروری بود.

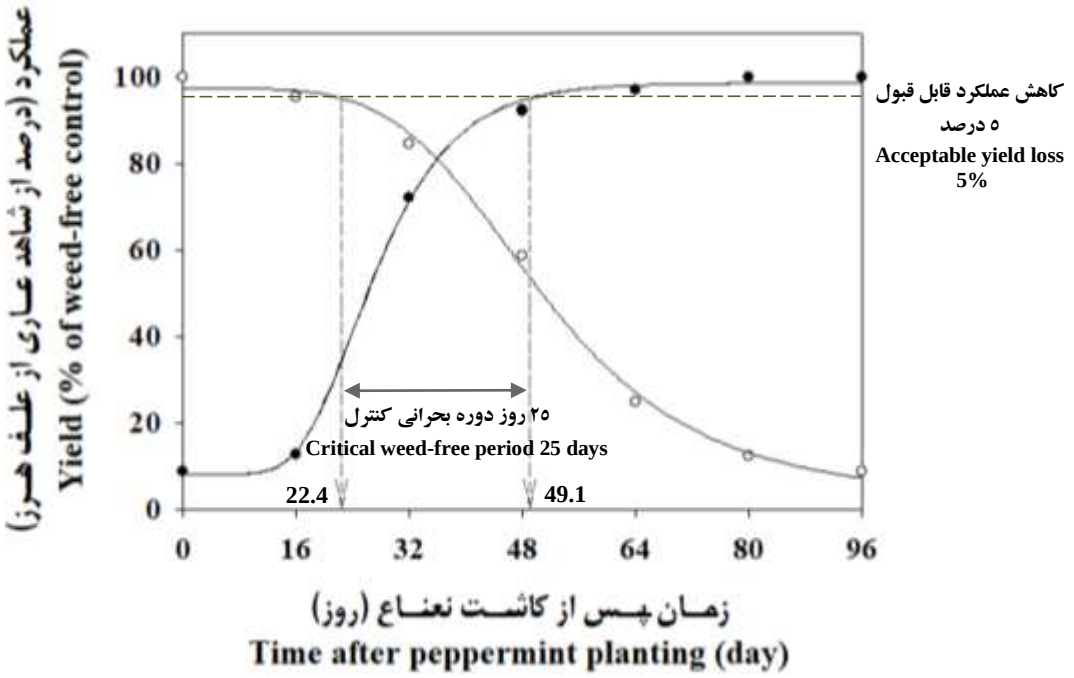
جدول ۵- براورد ضرایب برازش توابع گامپرتز و لجستیک به عملکرد بیولوژیک نسبی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Table 5- Coefficient estimates to determine relative peppermint (*Mentha piperita* L.) biological yield using the Gompertz and logistic models

پارامترهای معادله گامپرتز Gompertz parameters					پارامترهای معادله لجستیک Logistic parameters				
D	B	A	C	R^2	D	B	A	C	R^2
90.25	5.72	22.18	8.62	0.99	94.96	4.53	50.82	2.30	0.99

تابع گامپرتز، ((Y= C+Dexp(-exp(-(t-A)/B)، و تابع لجستیک ،Y=C+D/(1+exp(-A+Bt))، به‌ترتیب به داده‌های عملکرد بیولوژیک نسبی سری‌های عاری از و آلوده به علف‌های هرز برازش داده شد. در هر دو معادله Y عملکرد بیولوژیک نسبی، C مجانب پایینی منحنی، D اختلاف مجانب بالایی و پایینی منحنی، exp ثابت ریاضی، A و B پارامترهای تعیین‌کننده شکل منحنی، و t زمان برحسب روز پس از کشت نعناع فلفلی است.

Gompertz, Y= C+Dexp(-exp(-(t-A)/B)), and logistic, Y=C+D/(1+exp(-A+Bt)), equation was fitted to relative biological yield of weed-free and weed infested series respectiely, where in both models, Y is the relative biological yield, C is the lower asymptote, D is the difference between the upper and lower asymptotes, exp is the mathematical constant e, A and B are parameters that determine the shape of the curve, and t is the number of days after peppermint planting.



شکل ۱- اثر دوره عاری از علف‌هرز (تابع گامپرتز، ●) و آلوده به علف‌هرز (تابع لجستیک، ○) بر عملکرد بیولوژیک نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) نسبت به شاهد کنترل تمام‌فصل علف‌های هرز

Figure 1- The effect of weed free (Gompertz equation, ●) and weed infested (Logistic equation, ○) duration on peppermint (*Mentha piperita* L.) biological yield compared to full-season weed-frre control

جدول ٦- تعداد روز آلوده به و عاری از علف‌های هرز در سطوح ۱۰، ۷/۵ و ۵ درصد کاهش عملکرد بیولوژیک نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)

Table 6- Number of weed-infested and weed-free days for 5, 7.5 and 10 percent biological yield reduction of peppermint (*Mentha piperita* L.)

	آلوده به علف‌هرز Weed infested			عاری از علف‌هرز Weed free		
کاهش عملکرد بیولوژیک Biological yield reduction	5%	7.5%	10%	5%	7.5%	10%
روز Day	22.40	26.56	29.33	49.07	44.78	41.97

منابع

1. Aflatuni, A., Uusitalo, J., Ek, S., & Hohtola, A. (2005). Variation in the amount of yield and in the extract composition between conventionally produced and micropropagated peppermint and spearmint. *Journal of Essential Oil Research*, *17*, 66-70. https://doi.org/10.1080/10412905.2005.9698833
2. Aghaalikhani, M., Yadavi, A.R., & Modarres-Sanavy, S.A.M. (2005). Critical period of weed control of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Lordegan, *Journal of Agricultural Science*, *28*(1), 111-126. (In Persian with English abstract). (Available from: https://sid.ir/paper/24795/fa)
3. Akbarzadeh, A., Jaimand, K., Hemmati, A., & Khanjani-shiraz, B. (2010). Medicinal plants of Gilan province and their applications. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *26*(3), 326-347. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6793
4. Amador-Ramirez, M.D. (2002). Critical period of weed control in transplanted chili. *Weed Research*, *42*, 203-209. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2002.00278.x
5. Castro, L.W.P., Deschamps, C., Biasi, L.A., Scheer, A.P., & Bona, C. (2010). Development and essential oil yield and composition of mint chemo types under nitrogen fertilization and radiation levels. 19th World Congress of Soil Science, *Soil Solutions for a Changing World*. Brisbane, Australia, p. 13-15.
6. Charles, D.J., & Simon, J.E. (1990). Comparison of extraction methods for the rapid determination of essential oil content and composition of basil. *Journal American Society for Horticultural Science*, *115*, 458-462. https://doi.org/10.21273/JASHS.115.3.458
7. Didehbaz-Moghanlo, G., Tobeh, A., Fakhari, R., Alebrahim, M.T., & Saadat, S.A. (2019). Weed management of peppermint (*Mentha piperita*) using narrow leaf cover crops and their effect on yield. *Journal of Agroecology*, *9*(1), 1-16. (Available from: https://sid.ir/paper/391152/fa)
8. Gibson, L., & Liebman, M. (2003). A laboratory exercise for teaching critical period for weed control concepts. *Weed Technology*, *17*, 403-411. https://doi.org/10.1614/0890-037X(2003)017[0403:ALEFTC]2.0.CO;2
9. Halford, C., Hamill, A.S., Zhang, J., & Doucet, C. (2001). Critical period of weed control in no-till soybean (*Glycine max*) and corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, *15*(4), 737-744. https://doi.org/10.1614/0890-037X(2001)015[0737:CPOWCI]2.0.CO;2
10. Hedge, A. (1982). Labiateae (*Salvia*). In: Rechinger, K.H. Eds. *Flora Iranica*. Akademische drucku Verlangsanstalt, Graz Austria, 598 p.
11. Hosseini, A., koocheki, A., & Nassiri-Mahalati, M. (2006). Critical period of weed control in cumin (*Cuminum cyminum*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *4*(1), 23-34. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/GSC.V4I1.1316
12. Hussain, A., Nadeem, A., Ashraf, I., & Awan, M. (2009). Effect of weed competition periods on the growth and yield of black seed (*Nigella sativa* L.). *Pakistan Journal of Weed Science Research*, *15*, 71-81.
13. Kalemba, D., & Synowiec, A. (2020). Agrobiological interactions of essential oils of two menthol mints: *Mentha piperita* and *Mentha arvensis*. *Molecules*, *25*(1), 59. https://doi.org/10.3390/molecules25010059
14. Kavurmaci, Z., Karadavut, U., Kokten, K., & Bakoglu, A. (2010). Determining critical period of weed- crop competition in fava bean (*Vicia faba*). *International Journal of Agriculture and Biology*, *12*(2), 318-320.
15. Khazaie, M., Habibi, H., Zand, E., Kordenaeej, A., Amini, Dehghi M., & Hadizadeh, M.H. (2012). Determining the critical period of weed control in thyme (*Thymus vulgaris*). *Iranian Journal of Weed Science*, *8*(1), 25-37. (In Persian with English abstract). (Available from: https://sid.ir/paper/185228/fa)
16. Khuram, M., Tanveer, A., Nadeem, M.A., Sarwar, N., & Shahzad, M. (2009).Critical period for weed-crop competition in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *Pakistan Journa of Weed Science and Research*, *15*(2-3), 171-181.
17. Knezevic, S.Z., Evans, S.P., & Mainz, M. (2003). Row spacing influences the critical timing for weed removal in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, *17*, 666-673. https://doi.org/10.1614/WT02-49
18. Knezevic, S.Z., Evans, S.P., Blankenship, E., Evan Aker, R.C., & lindqist, J.L. (2002). Critical period for weed control: The concept and data analysis. *Weed Science*, *50*, 773-786. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0773:CPFWCT]2.0.CO;2
19. Kumar, S. (2001). Critical period of weed competition in cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Indian Journal of Weed Science*, *33*, 30-33.
20. Kumar, A., Samarth, R.M., & Yasmeen, S. (2004). Anticancer and radio protective potentials of *Mentha piperita* L. *Bio Factors*, *22*(1-4), 87-91. https://doi.org/10.1002/biof.5520220117
21. Maffei, M., Chialva, F., & Sacco, T. (1988). Glandular trichomes and essential oils in developing peppermint leaves. *New Phytologist*, *111*(1), 707-716. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1989.tb02366.x
22. Maffei, M., Chialva, F., & Sacco, T. (2004). Are leaf area index (LAI) productivity in peppermint?. *Flavor and Fragrance Journal*, *9*(3), 119-124. https://doi.org/10.1002/ffj.2730090306
23. Mahboubi, M., & Kazempour, N. (2014). Chemical composition and antimicrobial activity of peppermint (*Mentha piperita* L.) Essential oil. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, *36*(1), 83-87.

24. Mahmoudzadeh, M., Rasouli-Sadaghiani, M.H., Hassani, A., & Barin, M. (2015). The role of mycorrhizal inoculation on growth and essential oil of peppermint (*Mentha piperita*). *Journal of Horticulture Science*, *29*(3), 342-348. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V0I0.23756
25. Martin, S.G., Van-Acker, R.C., & Friesen, L.F. (2001). Critical period of weed control in spring canola. *Weed Science*, *49*, 326-333. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0326:CPOWCI]2.0.CO;2
26. Mehta, B.K., Pandit, V., & Gupta, M. (2009). New principle from seeds of *Nigella sativa*. *Natural Product Research*, *23*, 138-148. https://doi.org/10.1080/14786410801892078
27. Mohler, C.L. (2001). Enhancing the competitive ability of crops. In M. Liebman, C. Mohler, and C. staver, (eds). *Ecological Management of Agricultural weeds*. Cambridge: Cambridge University Press. p.269 – 321.
28. Mubeen, K., Tanveer, A., Nadeem, M.A., Sarwar, N., & Shahzad, M. (2009). Critical period of weed-crop competition in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Pakistan Journal of Weed Science Research*, *15*(2-3), 171-181.
29. Niakan, M., Khavarinejad, R.A., & Rezaei, M.B. (2004). The effect of three fertilizer systems K.P.N on fresh and dry weight, leaf area and essential oil content of *Mentha piperita*. *Journal of Medicinal Plants*, *2*, 131-148. (In Persian with English abstract)
30. Omafra, S. (2006). *Principles of integrated weed management: Critical period for weed control*. Publication 75, guide to weed control. Minister of Agriculture, Food and Rural Affairs.
31. Ratkowsky, D.A. (1990). *Handbook of Nonlinear Regression Models*. New York: Marcel Dekker. p. 123–147.
32. Russo, A., Formisano, C., Rigano, D., Senatore, F., Delfine, S., Cardile, V., Rosselli, S., & Bruno, M. (2013). Chemical composition and anticancer activity of essential oils of Mediterranean sage (*Salvia officinalis* L.) grown in different environmental conditions. *Food and Chemical Toxicology*, *55*, 42-47. https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.12.036
33. Sabra, F.S., & Mahmoud, M.S. (2015). Utilization of herbicidal treatments to overcome weed problems in peppermint (*Mentha piperita* L.) cultivation under Egyptian conditions. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*, *3*(1), 103-108.
34. Setvati-nayyeri, S., Gholipoori, A., Tobeh, A., & Jamaati, Sh. (2014). *Determination of critical period of weed control in medicinal plant of salvia* (*Salvia officinalis* L.). Proceeding of 2nd Nation Sampusiom Basic Research of Agriculturic Since, Tehran, p. 2923.
35. Seyedi, S.M., Ghorbani, R., Rezvani-Moghaddam, P., & Nasiri-Mahalati, M. (2011). The critical period of weed control in black seed (*Nigella sativa* L.) at Mashhad. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *42*(4), 809-819. DOR: 20.1001.1.20084811.1390.42.4.16.8
36. Shah, P.P., & D'Mello, P.M. (2004). A review of medicinal uses and pharmacological effects of *Mentha piperita*. *Natural Product Radiance*, *3*(4), 214-221.
37. Sharifi Noori, M.S., & Ebadi, A.M. (2009). Determination of critical period of weed control in *Plantago ovata*. *Journal of Applied Crop Research*, *22*, 56-67. (In Persian with English abstract)
38. Smitchger, J.A., Burk,e I.C., & Yenish, J.P. (2012). The critical period of weed control in lentil (*Lens culinaris*) in the pacific northwest, *Weed Science*, *60*(1), 81-85. https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00069.1
39. Verdeguer, M., Castañeda, L.G., Torres-Pagan, N., Llorens-Molina, J.A., & Carrubba, A. (2020). Control of *Erigeron bonariensis* with *Thymbra capitata*, *Mentha piperita*, *Eucalyptus camaldulensis*, and *Santolina chamaecyparissus* essential oils. *Molecules*, *25*(1), 562. https://doi.org/10.3390/molecules25030562
40. Verma, R.S., Rahman, L., Verma, R.K., Chauhan, A., Yadav, A.K., & Singh, A. (2010). Essential oil composition of menthol mint (*Mentha arvensis*) and peppermint (*Mentha piperita)* cultivars at different stages of plant growth from Kumauni region of Western Himalaya. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *1*, 1-13.
41. Walia, U.S., Singh, S., & Singh, B. (2007). Performance of oxyfluorfen for weed control in *Mentha arvensis*. *Indian Journal of Weed Science*, *39*(3-4), 211-213.
42. Yadav, Y., Kumar, R., Kumari, A., Nand, V., & Verma, S. (2019). Effect of herbicides on dry matter accumulation, fresh herbage yield, oil yield and profitability of Japanese mint (*Mentha arvensis* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *8*(2), 49-53.