گیاه و زیست فناوری ایران
Iranian Journal of Plant & Biotechnology (IJPB)

مقاله مروری

علف‌کش‌های زیستی مبتنی بر پایه عصاره و اسانس گیاهان دارویی

مانی جباری (نویسنده مسئول)[۱*] و سمیرا ابوعلی[۲]

۱*- کارشناس‌ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران،
mani.jabbari.mp@gmail.com
۲- کارشناس‌ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، mitrajabbari2014@gmail.com

تاریخ دریافت: تیر ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۳

Biological herbicides based on extracts and essential oils of medicinal plants

Mani Jabari (Corresponding author)[1*] and Samira Abooali[2]
1*- M.Sc, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran, mani.jabbari.mp@gmail.com
2- M.Sc, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran, samira.abooali@yahoo.com

Received: July 2024 Accepted: September 2024

چکیده

کاربرد علف‌کش از دیرباز به عنوان کارآمدترین روش کنترل علف‌های هرز در تولیدات کشاورزی در سراسر جهان می‌باشد. با این حال، استفاده طولانی مدت از مواد شیمیایی کشاورزی اثرات منفی متعددی بر محصولات و محیط زیست دارد. در سال‌های اخیر، توسعه محصولات جدید مبتنی بر ترکیبات زیست فعال برای کنترل زیستی علف‌های هرز اهمیت پیدا کرده است، زیرا به کاهش استفاده از ترکیبات و علف‌کش‌های مصنوعی در کشاورزی کمک می‌کند. علف‌کش‌های مصنوعی، می‌توانند منجر به اثرات نامطلوب مانند بیماری‌های انسانی و همچنین بدلیل جابجایی آنها در هوا و ماندگاری در محیط‌های مختلف، محیط زیست را مختل می‌کنند. به نظر می‌رسد استفاده از مولکول‌های طبیعی، جایگزین بسیار خوبی برای حفظ کشاورزی پایدار و بدون عوارض جانبی منفی علف‌کش‌های مصنوعی است. در این زمینه، عصاره و اسانس گیاهان دارویی و اجزای آنها به لطف فعالیت‌های زیست‌کشی شناخته شده‌اند. اسانس‌ها منبع مهمی از ترکیبات فعال بیولوژیکی هستند، ترپن‌های اکسیژن‌دار، و مونو و سسکوی‌ترپن‌ها، نقش اصلی را در سمیت گیاهی اسانس‌ها ایفا می‌کنند. اسانس‌ها و اجزای آنها، عمدتاً ترپنوئیدها، به عنوان ترکیبات طبیعی خالص یا مخلوط، بدلیل تنوع ساختاری و فعالیت سمیت گیاهی قوی، می‌توانند نامزدهای خوبی برای علف‌کش‌های زیستی جدید یا به عنوان مواد اولیه برای علف‌کش‌های مصنوعی جدید باشد.

کلمات کلیدی: باغبانی، خواص بیولوژیکی، سمیت گیاهی، کشاورزی پایدار، متابولیت‌های ثانویه

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران
بهار ۱۴۰۳، دوره ۱۹، شماره ۱، صص ۷۶-۵۹

Abstract

The use of herbicides has long been considered the most efficient method of weed control in agricultural production all over the world. However, the longterm use of agrochemicals has several negative effects on crops and the environment. In recent years, the development of new products based on bioactive compounds for the biological control of weeds has become important because it helps to reduce the use of synthetic compounds and herbicides in agriculture. Synthetic herbicides can lead to adverse effects such as human diseases and also disrupt the environment due to their movement in the air and persistence in different environments. It seems that the use of natural molecules is a very good alternative to maintain sustainable agriculture without the negative side effects of synthetic herbicides. In this context, extracts and essences of medicinal plants and their components are known thanks to their biocidal activities. Essential oils are an important source of biologically active compounds, oxygenated terpenes, and mono and sesquiterpenes play the main role in the phytotoxicity of essential oils. Essential oils and their components, mainly terpenoids, as pure or mixed natural compounds, can be good candidates for new biological herbicides or as raw materials for new synthetic herbicides due to their structural diversity and strong phytotoxic activity.

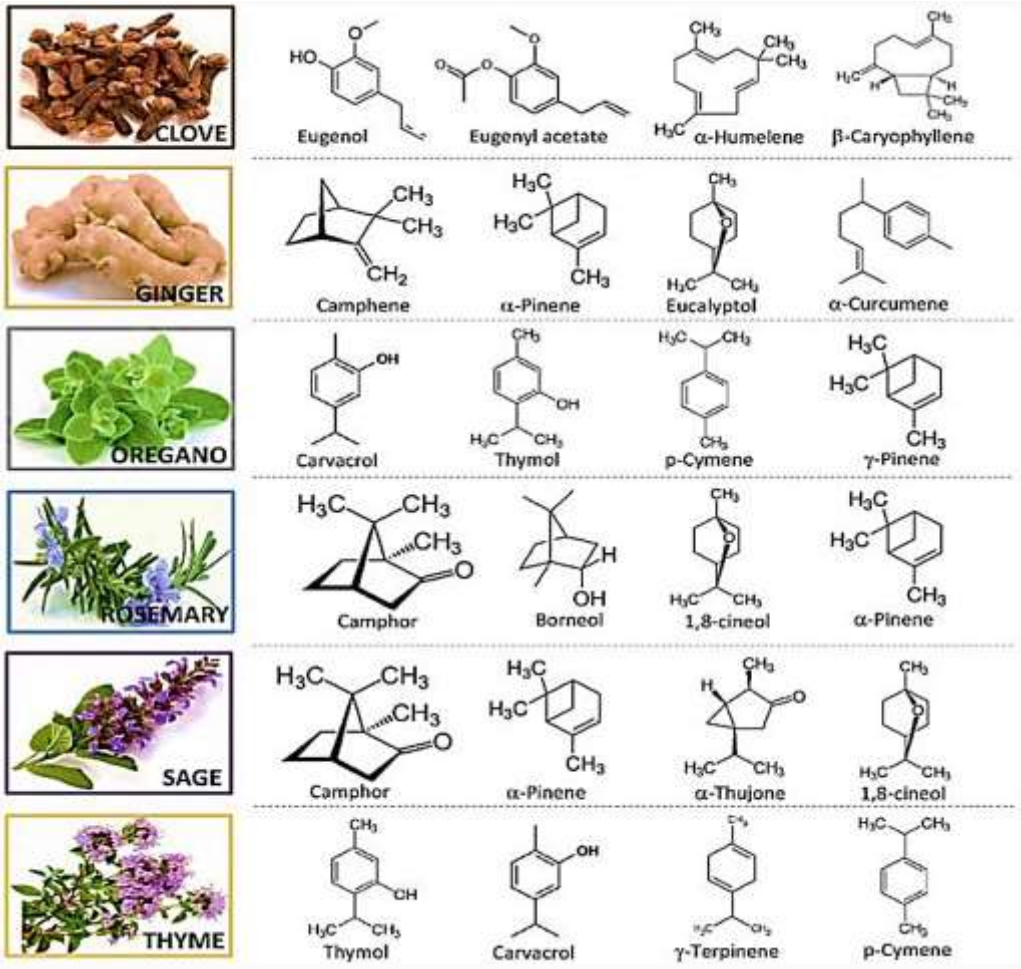
Keywords: Biological properties, Horticulture, Phytotoxicity, Secondary metabolites, Sustainable agriculture

Iranian Journal of Plant & Biotechnology
Spring 2024, Vol 19, No 1, Pp 59-76

مقدمه و کلیات

علف‌های هرز یک محدودیت مهم برای تولید محصولات کشاورزی هستند (Jugulam, 2017). علف‌های هرز تقریباً ۰/۱ درصد از فلور جهان را تشکیل می‌دهند و با شیوه‌های کشاورزی تکامل می یابند. علف‌های هرز می‌توانند از طریق رقابت برای منابعی مانند نور، آب و مواد غذایی و با تولید ترکیبات شیمیایی موسوم به ترکیبات آللوپاتیک باعث کاهش عملکرد محصول شوند (Gupta *et al*., 2023). همانطور که آگاهی از خطرات مربوط به استفاده بیش از حد از آفت‌کش‌های مصنوعی و پیامدهای خطرناک آنها (سمیت‌های غیر هدفمند و ماندگاری بالا) در حال رشد است، بسیاری از تحقیقات در حال انجام بر روی پتانسیل مولکول‌های طبیعی به عنوان جایگزینی برای کنترل زیستی تمرکز می‌کنند (Kim *et al*., 2018). خطرات کمتر استراتژی‌های مدیریت تلفیقی آفات (IPM) و مدیریت تلفیقی علف‌های هرز (IWM)روش‌های زراعی سازگار با محیط زیست برای کنترل آفات/ علف‌های هرز در نظر گرفته می‌شوند. کنترل علف‌های هرز به طریق: فیزیکی (تناوب زراعی، کشت پوششی، بیل زدن، روش حرارتی و ...)، شیمیایی (استفاده از علف‌کش‌های زیستی)، مکانیکی و بیولوژیکی (استفاده از میکروارگانیسم‌ها) انجام می‌شود. استفاده از آللوپاتی برای کنترل علف‌های هرز نیز یک استراتژی در مدیریت تلفیقی علف‌های هرز است. این روش شامل کنترل علف‌های هرز از طریق انتشار متابولیت‌های ثانویه (به نام آللوشیمیایی) توسط گیاهان در محیط است که در ترکیب با روش‌هایی که قبلاً ذکر شد، بسیار مفید است (Scavo and Mauromicale. 2020; Gupta *et al*., 2023). در میان متابولیت‌های ثانویه گیاهی که به عنوان آفت‌کش‌های زیستی استفاده می‌شوند، اسانس‌ها (EOs) یک گروه اصلی هستند که در تعداد فزاینده‌ای از کاربردها (علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، باکتری‌کش‌ها، کنه‌کش‌ها) استفاده می‌شوند (Ben Kaab *et al*., 2019; De Clerck *et al*., 2020; Tanoh *et al*., 2020; Maes *et al*., 2019; Giannini *et al*., 2022). در واقع، بسیاری از اسانس‌ها، اثرات سمیت گیاهی (Phytotoxic) را نشان داده‌اند که می‌تواند با استفاده از آنها به عنوان علف‌کش‌های زیستی تقویت شود (Werrie *et al*., 2020; Baser and Buchbauer. 2020). اسانس‌های گیاهی، مایعات معطر طبیعی، پیچیده، فرار، آبگریز، روغنی هستند که از ترکیبات مرتبط متعددی تشکیل شده‌اند که در گیاهان دارویی و معطر به عنوان متابولیت‌های ثانویه ساخته می‌شوند (Swamy *et al*., 2016). گیاهان دارویی از زمان‌های قدیم بدلیل خواص معطر و دارویی مورد توجه و استفاده بوده‌اند. برخی از گیاهان دارویی مانند آویشن (*Thymus vulgaris*)، مرزه (*Satureja hortensis*)، دارچین (*Cinnamomum verum*)، زیره سبز (*Cuminum cyminum*)، رزماری (*Salvia rosmarinus*) و میخک (*Syzygium aromaticum*) در سراسر جهان به عنوان چاشنی و طعم‌دهنده غذا استفاده می‌شوند (Ali *et al*., 2015). گیاهان، اسانس‌ها را در اندام‌های مختلف (گل، ریشه، پوست، برگ، دانه، پوست، میوه‌ها، چوب یا کل گیاه) خود به‌عنوان مخلوط

پیچیده‌ای از متابولیت‌های ثانویه مانند مونو و سیسکوی، و دی‌ترپنوئیدها علاوه بر هیدروکربن‌ها تولید می‌کنند (Abd El-Gawad *et al*., 2019; Assaeed *et al*., 2020). در گیاهان، اسانس‌ها از طریق مسیرهای ایزوپرنوئید مختلف مانند مسیر متیل اریتریتول ٤–فسفات (MEP) و مسیر اسید موالونیک (MVA) ساخته می‌شوند (Sharifi-Rad *et al*., 2017). اسانس‌ها به عنوان عوامل بیولوژیکی قوی مانند سمیت گیاهی (Abd El-Gawad *et al*., 2019; Elshamy *et al*., 2019; Abd El-Gawad *et al*., 2018; Abd El-Gawad *et al*., 2018)، ضدمیکروبی (Deng *et al*., 2020)، ضدالتهاب (Elshamy *et al*., 2020)، ضدزخم (Arunachalam *et al*., 2017)، محافظ کبد (Damtie *et al*., 2019)، فعالیت حشره–کشی (Regnault-Roger *et al*., 2012) و علف‌کشی (Tworkoski, 2002; Verdeguer *et al*., 2011) بیان شده‌اند. پتانسیل زیست فعالی اسانس‌ها بطور مستقیم با کیفیت و کمیت ترکیبات شیمیایی آنها در ارتباط است (Abd El-Gawad *et al*., 2019). ترکیب اسانس که عمدتاً شامل ترکیبات چربی دوست و بسیار فرار و به ندرت محلول در آب است، خواص و فعالیت‌های بیولوژیکی اسانس‌ها را تعیین می‌کند (Bakkali *et al*., 2008; Blázquez, 2014; Donsì and Ferrari, 2016; Raveau *et al*., 2020). ترکیبات اصلی اسانس‌ها، ترپنوئیدها هستند که عمدتاً مونو و سسکوی‌ترپن‌ها می‌باشند، اما دی‌ترپن‌ها را نیز می‌توان یافت که همه آنها به شکل هیدروکربن‌ها، الکل‌ها، آلدئیدها، کتون‌ها، اترها، استرها، پراکسیدها و فنل‌ها هستند. اوژنول ترکیب اصلی اسانس میخک و آلدهید ترانس سینامیک ماده اصلی تشکیل دهنده اسانس دارچین است. ترکیبات آلیفاتیک (هیدروکربن‌ها، الکل‌ها، اسیدها، آلدئیدها، استرها و لاکتون‌ها) نیز می‌توانند در ترکیب اسانس وجود داشته باشند (Bakkali *et al*., 2008; Blázquez, 2014; Rios, 2016; Raveau *et al*., 2020). علاوه بر این، مواد دیگری مانند چربی‌ها، کومارین‌ها، آنتراکینون‌ها و آلکالوئیدهای خاصی که قابل تقطیر هستند، در اسانس‌های بدست آمده از تقطیر شناسایی شده‌اند. برخی از ترکیبات از گلیکوزیدها مشتق شده‌اند که در طی فرآیند تقطیر تبدیل می‌شوند (Rios, 2016). ۹۹ درصد از ترکیب اسانس، ترکیبات هیدروکربن و مونو و سسکوی‌ترپن‌های و پس از آن آلدئیدهای غیرترپن C6-C12 آلیفاتیک و الفینی، الکل‌ها، کتون‌ها، استرها و اسیدها می‌باشد، باقیمانده ترکیبات معطر غیرفرار عمدتاً از فلاونوئیدها، کومارین‌ها، دی‌ترپنوئیدها، استرول‌ها و اسیدهای چرب تشکیل شده است (González-Mas *et al*., 2019). در میان تمام علف‌کش‌هایی که خطرات آنها مورد مطالعه قرارگرفته است، از آنجایی که گلایفوسیت در بسیاری از کشورها ممنوع شده است، نیاز شدیدی به علف‌کش‌های کم‌خطر وجود دارد (Battaglin *et al*., 2014: Zhang *et al*., 2019; Van Bruggen *et al*., 2018; Martínez *et al*., 2018).



شکل ۱- ساختار شیمیایی ترکیبات زیست فعال موجود در گیاهان دارویی (Pateiro *et al*., 2018)

Fig 1- Chemical structure of bioactive compounds in medicinal plants (Pateiro *et al*., 2018)

مکانیسم‌های عمل علف‌کش‌ها

علف‌کش‌ها بصورت قبل یا بعد از سبز شدن، با اثر انتخابی یا غیرانتخابی. در مراحل مختلف رشد استفاده می‌شوند: یک ماده موثره و فعال می‌تواند در یک یا چند مسیر متابولیکی که با اثرات سمیت گیاهی مشخص می‌شود، عمل کند. علف‌کش‌های معمولی می‌توانند فرآیندهای متعددی مانند فتوسنتز، بیوسنتز اسیدهای آمینه یا فعالیت درون سلولی گیاهان هدف را تحت تأثیر قرار دهند (Mithila *et al*., 2011: Duke. 2020). به عنوان مثال، گلایفوسیت با اثر بر کلات کننده منگنز، آنزیم 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthetase را مهار می‌کند (De María *et al*., 2006). این منجر به اثرات سمیت گیاهی متعددی می‌شود که مهمترین آنها مهار بیوسنتز اسیدهای آمینه آروماتیک (مسیر شیکیمات) است. بنابراین، از آنجایی که فقط محصولات تراریخته مقاوم به گلایفوسیت تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند، این یک اثر غیرانتخابی است (Duke,. 2020). متریبوزین (Metribuzin)، یک علف‌کش انتخابی پیش و پس از رویش (در برابر

طیفی از علف‌های هرز دو لپه‌ای) است که فتوسنتز را در سطح واکنش هیل مهار می‌کند، انتقال الکترون را مسدود و منجر به فوتواکسیداسیون لیپید و کلروفیل می‌شود (Lu *et al*., 2019). برخی از سولفونیل اوره‌ها، از جمله ریم‌سولفورون، علف‌کش‌های انتخابی هستند که با تأثیر بر آنزیم استولاکتات سنتاز، بیوسنتز اسیدهای آمینه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Duke, 2020). اسید پلارگونیک (نانانوئیک اسید) از طریق سنتز شیمیایی به‌دست می‌آید و نسخه طبیعی آن در گیاه شمعدانی یافت می‌شود، یک علف‌کش غیرانتخابی است که بدلیل اثر تماسی وسیع الطیفش در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ciriminna *et al*., 2019). در واقع، این اسیدهای چرب با زنجیره میانی موجب آسیب شدید به غشای سلولی می‌شوند و اسید لینولنیک را در غشاهای تیلاکوئید تجزیه و سبب نشت یونی می‌شوند (Fukuda *et al*., 2004). ماده فعال علف‌کش‌های زیستی، یک عصاره یا مولکول طبیعی می‌باشد. برخی از عصاره‌های گیاهی مانند سورگولئون، آرتمیزینین، آیلانتون، سارمنتین، اسید پلارگونیک و جوگلون؛ یا گروه‌های شیمیایی مانند تری‌کتون‌ها، کاتچین‌ها، کینون‌ها، آلکالوئیدها و پلی‌استیلن‌ها یا مخلوط‌های پیچیده مانند اسانس‌ها، دارای اثرات علف‌کشی زیستی هستند (Motmainna *et al*., 2021). از آنجایی که هدف آفت‌کش‌ها از بین بردن آفات هستند، برای برخی از ارگانیسم‌ها سمیت دارند، اما یک اشکال عمده این است که امکان دارد سمیت بر موجودات غیرهدف (به عنوان مثال، میکروفون خاک یا حشرات گرده افشان) نیز تأثیر بگذارد (Francis *et al*., 2020). بدین منظور برای کاهش خطر، تولید علف‌کش‌های زیستی که بر اساس مواد فعال طبیعی و مولکول‌های بالقوه کمتر سمی مانند اسانس گیاهان دارویی هستند، ترویج و توصیه می‌شود.

عصاره و اسانس گیاهان دارویی

مطالعه برهمکنش‌های گیاه بر گیاه از طریق آزادسازی متابولیت‌های ثانویه می‌تواند شروعی برای کشف مواد جدید با فعالیت علف‌کشی باشد (Verdeguer *et al*., 2020). اسانس‌ها و ترکیبات آنها، در درجه اول ترپنوئیدها، کاندیدهای خوبی به عنوان جایگزین برای علف‌کش‌های مصنوعی هستند. استفاده از اسانس‌ها در مدیریت علف‌های هرز عمدتاً بدلیل ترکیبات آللوشیمیایی آنها است (Dudai *et al*., 1999). اصطلاح آللوپاتی به تعامل گیاه بر گیاه اشاره دارد که به موجب آن ترکیبات آللوشیمیایی‌های آزاد شده توسط یک گیاه بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سایر گیاهان اطراف بطور مستقیم یا غیرمستقیم تأثیر می‌گذارد (Thomas *et al*., 2016). آللوشیمیایی‌ها، دسته وسیعی از ترکیبات پیچیده هستند که شامل اسانس‌ها، کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه، سالیسیلات‌ها، آلکالوئیدها، فنول‌ها، فلاونوئیدها، جاسمونات‌ها، مومیلاکتون‌ها، اسیدهای هیدروکسامیک، براسینواستروئیدها و گلوکوزینولات‌ها هستند، اما محدود به آنها نمی‌شود (Alipour *et al*., 2019). بطورکلی، مونوترپنوئیدها و سسکوی ترپن‌ها هر دو به اثرات فیتوتوکسیک و آللوپاتیک اساتس‌ها کمک می‌کنند (Martino *et al*., 2010; Ootani *et al*., 2017). اسانس‌ها مخلوط پیچیده‌ای از ترکیبات فرار هستند که از تقطیر قسمت‌های

مختلف گیاهان معطر و دارویی بدست می‌آیند. مولکول‌های تشکیل دهنده اسانس‌ها عمدتاً ترپن‌ها (مونوترپن‌ها و سسکوی‌ترپن‌ها)، ترپنوئیدها و فنیل پروپانوئیدها هستند. آنها متابولیت‌های ثانویه گیاهان هستند که توسط سه مسیر بیوسنتزی (موالونات، متیل اریتریتول و شیکیمیک اسید) تولید می‌شوند (Baser and Buchbauer, 2020). ترپن‌ها از واحدهای ایزوپرن (پایه پنج کربنی) تشکیل شده‌اند که می‌توان آنها را عامل‌دار، جایگزین یا بازآرایی کرد تا اشکال غیرحلقه‌ای، تک‌حلقه‌ای، دوحلقه‌ای یا سه‌حلقه‌ای کربن، الکل، آلدهید، کتون، استر، اتر، پراکسید و فنل ایجاد کنند. مونوترپن‌ها از دو واحد ایزوپرن و سسکوئی‌ترپن‌ها از سه واحد تشکیل شده‌اند (Ninkuu *et al*., 2021). ترپنوئیدها، ترپن‌های حاوی اکسیژن هستند. فنیل پروپانوئیدها از فنیل پروپان مشتق می‌شوند و شامل برخی آلدئیدها، الکل‌ها، فنل‌ها، مشتقات متوکسی و ترکیبات متیلن دی اکسی می‌باشند (Bakkali *et al*., 2008). ترکیبات اسانس می‌تواند به دنبال تفاوت‌های ژنتیکی (شیمیوتیپ‌ها، گونه‌ها، قسمت‌هایی از گیاهان)، و بر اساس شرایط محیطی مختلف (زمان برداشت، ترکیب خاک، آب و هوا) متفاوت باشد (Baser and Buchbauer, 2020). با توجه به اثرات علف‌کشی، ترکیبات موثر شناخته شده عبارتند از: بتا-پینن، فارنسن، اوژنول، ۱،۸-سینئول (اکالیپتول)، جوگلون، آلفا-پینن، کافور، لیمونن، منتول، منتون، سیترال، کارواکرول، ترانس کاریوفیلن، تیمول، ژرانیول و سیترونلول (Werrie *et al*., 2020). تمام اسانس‌ها حاوی این ترکیبات بسته به غلظت آنها فعالیت علف‌کشی دارند. سایر اسانس-هایی که احتمالاً بدلیل هم افزایی اجزای تشکیل دهنده آنها فعالیت علف‌کشی نشان می‌دهند، عبارتند از *Cymbopogon citratus*، *Viptis suaveolens*، *Artemisia fragrans*، *Origanum vulgare*، *Citrus aurantiifolia*، *Plectrantus amboinicus*، *Mentha longifolia*، *Nepetax aromaticum*، *Mentha x piperita*، *Artemisia scoparia*، *Cinnamomum benghalensis*، *Cymbopogon winterianus*، *Pogostemon Monarda didyma* (Grul'ová *et al*., 2020). علاوه بر این، برخی از ترکیبات اسانس‌ها مانند منتول، بتا-سیترونلول، سیترال، ژرانیول، لیمونن، منتون، آلفا-کارواکرول به عنوان بازدارنده جوانه‌زنی موثر هستند. برخی دیگر مانند بورنئول، کافور، بتا سیترونلول، R-کارون، کارواکرول، تیمول و لیمونن طول ریشه را کاهش می‌دهند (De Martino *et al*., 2010). برخی از اسانس‌ها بر همه گیاهان تأثیر دارند، در حالی که برخی دیگر فقط روی گیاهان خاصی مؤثر هستند. این ویژگی می‌تواند ناشی از مکانیسم عمل ماده فعال باشد. مکانیسم‌های عمل برخی از اسانس‌ها و ترکیبات آنها به شرح زیر است: اسانس‌ها و اجزای خالص آنها با تولید ROS باعث آسیب اکسیداتیو و از دست دادن یکپارچگی غشاء می‌شوند که باعث نشت یون یا الکترولیت، دپلاریزاسیون غشاء، قطع شدن موم کوتیکولی، گرفتگی روزنه و انقباض سلول‌های اپیدرمی می‌شود. گزارش شده است که سیترونلول رشد ریشه و اندام هوایی گندم معمولی را با ایجاد اختلال در غشاء با واسطه ROS مهار می‌کند. تولید ROS می‌تواند منجر به پراکسیداسیون لیپیدی،

آسیب غشا و نشت یون شود (Kaur *et al*., 2011). اعتقاد بر این است که اثرات سمیت گیاهی اسانس با سرکوب سنتز DNA، تداخل با فعالیت میتوزی، یا مختل کردن غشای اطراف میتوکندری و هسته در برخی از اندامک‌ها مانند میتوکندری واسطه می‌شود (Hanana *et al*., 2017). ترکیب ۱،۸- سینئول، جزء اصلی اسانس رزماری برای مهار تولید DNA و فعالیت میتوزی در هسته‌های سلولی و اندامک‌ها در مریستم انتهایی ریشه کلزا توصیه می‌شود (Nishida *et al*., 2005). بیشتر فعالیت‌های سلولی بنیادی، از جمله تقسیم سلولی، انتقال یون در غشاها، و سنتز مولکول‌هایی مانند لیپیدهای غشا، کلروفیل، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، به منبع انرژی متابولیک نیاز دارند. تنفس میتوکندریایی ATP را برای پشتیبانی از این فرآیندها تامین می‌کند (Amri *et al*., 2013). محققان بیان کردند که آلفا-پینن، جزء اصلی اسانس رزماری، به شدت متابولیسم انرژی میتوکندریایی را مختل می‌کند و با جدا کردن فسفوریلاسیون اکسیداتیو و مهار انتقال الکترون، تولید ATP را مهار می‌کند (Abrahim *et al*., 2003). تحقیقات نشان داد، که اسانس‌های از *Cymbopogon nardus* و *Eucalyptus citriodora* و همچنین سیترونل خالص محتوای کلروفیل و پروتئین کل را در علف هرز *Digitaria horizontalis* و *Cenchrus echinatus* به ترتیب بیش از ۸۰ و ۹۰ درصد کاهش دادند (Ootani *et al*., 2017). تایید شد که اسانس مرزنجوش بر جذب نیتروژن به گلوتامین تأثیر منفی می‌گذارد و باعث تجمع بیش از حد آمونیاک سمی در سلول‌های برگ و همچنین تنش اکسیداتیو می‌شود. پس از آن، مجموعه‌ای از رویدادها که اثربخشی یا کارایی PSII را سرکوب می‌کند، باعث ایجاد تنش اکسیداتیو و در نهایت کاهش قابل توجهی در رشد و نمو گیاه و به دنبال آن نکروز برگ و مرگ گیاه می‌شود (Araniti *et al*., 2018). محققان نشان دادند که لیمونن و سیترال می‌توانند میکروتوبول‌ها را مختل و لیمونن نیز باعث نشت غشاء شوند (Chaimovitsh *et al*., 2017). پرولین به عنوان واسطه تنظیم اسمزی و یکپارچگی و محافظت غشای پلاسمایی عمل می‌کند. تجمع آن می‌تواند با افزایش هیدرولیز پروتئین ناشی از تنش مرتبط باشد (Singh and Tiwari, 2020). سمیت گیاهی اسانس‌های مختلف روی علف‌های هرز را می‌توان با بیان و تجمع محصولات تنش اکسیداتیو، مانند پرولین و لیپید پراکسیداز تعیین کرد. امولسیون اسانس‌ها با برهم زدن یکپارچگی غشاء و القای تنش اکسیداتیو به علف‌های هرز، به آنها آسیب می‌رساند. بطور کلی، اسانس‌ها جریان الکترون در میتوکندری را مهار می‌کند و در نتیجه تولید ROS افزایش می‌یابد که باعث افزایش پراکسیداسیون لیپیدی می‌شود. این احتمال وجود دارد که تجزیه غشاء منجر به آزاد شدن چربی در داخل سیتوپلاسم سلول‌های هدف شود، زیرا اسیدهای چرب و سایر لیپیدها به عنوان اجزای ساختاری غشا شناخته می‌شوند. لیپیدهای آزاد شده در سیتوپلاسم ممکن است به هدف فعالیت اکسیداتیو تبدیل شوند (Khare *et al*., 2019). اسانس گیاه دارویی علف لیمو با افزایش نشت نسبی الکترولیت و پراکسیداز لیپیدی، فعالیت سمیت گیاهی قوی علیه علف هرز سوروف (*Echinochloa crus-*

galli) نشان داد (Poonpaiboonpipat *et al*., 2013). دو مزیت عمده استفاده از اسانس‌ها به عنوان علف‌کش، در مقایسه با مولکول‌های مصنوعی، عبارتند از: ۱-فراریت بالای آنها، ۲-کاهش قابل توجه باقیمانده در خاک، غذا یا آب (Koul *et al*., 2008; Duke *et al*., 2022).

فعالیت علف‌کشی اسانس‌ها

از زمان کشف و توسعه علف‌کش‌های مصنوعی در دهه ۱۹٤۰، آنها اصلی‌ترین روش مورد استفاده برای مدیریت علف‌های هرز بوده‌اند. استفاده بیش از حد از آنها تکامل بیوتیپ‌های علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش (Shaner, 2014) و همچنین اثرات مضر برای سلامت انسان و حیوانات (Sabarwal *et al*., 2018) و محیط زیست را موجب شده است (Jurado *et al*., 2011). اساس استفاده از اسانس‌ها در کنترل علف‌های هرز به این دلیل است که آنها حاوی ترکیبات آللوشیمیایی، عمدتاً ترپنوئیدها هستند که می‌توانند از جوانه زدن و رشد گونه‌های علف‌های هرز جلوگیری کنند (Angelini *et al*., 2003). محققین اسانس‌های مختلف از رزماری، آویشن و مرزه و ترکیبات اصلی آنها را روی علف‌های هرز و محصولات مختلف آزمایش کردند و دریافتند که اسانس *S. montana* با ۵۷٪ کارواکرول، بطور کامل از جوانه‌زنی علف‌های هرز جلوگیری می‌کند (Angelini *et al*., 2003). در پژوهشی دیگر، پتانسیل آللوپاتیک ٤۷ مونوترپنوئید از گروه‌های شیمیایی مختلف، در برابر جوانه‌زنی و رشد کاهوآزمایش شد (Vokou *et al*., 2003) مشخص کردند که هیدروکربن‌ها، به جز (+)-۳-کارن، کمترین بازدارندگی و استات‌ها کمتر مهارکننده اکسیژن‌دار بودند. ترکیبات. هر زمان که گروه هیدروکسیل آزاد یک الکل به یک گروه کربوکسیل تبدیل شد، فعالیت استر حاصل، بطور قابل توجهی (در برابر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه) کمتر بود آنها ترکیبات فعال‌تری را علیه رشد گیاهچه (۲٤ ترکیب) نسبت به جوانه‌زنی بذر (فقط ۵ ترکیب) یافتند. فعال‌ترین ترکیبات که هر دو فرآیند را کنترل می‌کردند، به گروه کتون‌ها و الکل‌ها تعلق داشتند بنابراین، پیش‌بینی فعالیت علف‌کشی یک اسانس براساس ترکیب آن زمانی که دارای اجزای زیادی است، آسان نیست، زیرا وجود ترکیبات جزئی می‌تواند رفتار مورد انتظار اجزای اصلی اسانس‌ها را تغییر دهد. در پژوهشی، محققان پتانسیل علف‌کشی اسانس‌ها را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که اسانس‌ها آزمایش شده فعالیت بازدارنده خوبی در برابر جوانه‌زنی، بسته به غلظت‌های اعمال شده، نشان داد. آنها تأیید کردند که اثر کلی اسانس‌ها از گیاهان معطر را نمی‌توان پیش بینی کرد، مگر اینکه ترکیب و فعل و انفعالات بین اجزای تشکیل دهنده آنها شناخته شده باشد (Arminante *et al*., 2006). محققان پتانسیل علف‌کشی اسانس *E. Camaldulensis* که غنی از اسپاتولنول را آزمایش کرد و پتانسیل علف‌کشی بالایی را در برابر *A. hybridus* و *P. oleracea* نشان داد (Verdeguer *et al*., 2009). پتانسیل علف‌کشی اسانس *Eucalyptus tereticornis* در برابر سوروف آزمایش شد که نشان می‌دهد احتمالات زیادی برای استفاده به‌عنوان علف‌کش برای کنترل این علف‌های هرز مضر وجود

دارد (Vishwakarma and Mittal, 2014). سابینن، جزء اصلی اسانس گیاه دارویی ارس خزنده *J. horizontalis* فعالیت ضدجوانه زنی (در ۰/۵، ۵، و ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر) و همچنین یک اثر سمی گیاهی بر طول ریشه *L. perenne* در تمام غلظت‌ها نشان داد (Gruľová *et al*., 2022).اسانس گیاه دارویی گونه‌های مختلف *Origanum syriacum* L.، *O. onites* L و *O. majorana* L.) (در ۵، ۱۰ و ۲۰ میکرولیتر) سرعت جوانه زنی علف‌های هرز مختلف، از جمله *Thlaspi arvense* L.، *A. retroflexus*، *Rumex crispus* L و *Lactuca serriola* L در آزمایش‌های آزمایشگاهی و گلخانه ای کاهش یافت که کارواکرول، تیمول و آلفا-ترپینئول عمدتاً در این روغن‌ها وجود داشتند (Kordali *et al*., 2022). عصاره متابولیت‌های ثانویه از برگ‌های درخت عرعر اثرات بازدارندگی بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه یونجه داشت (Tsao *et al*., 2002). عصاره پوست برنج، پتانسیل آللوپاتیک قابل توجهی را نشان داد. (Ahn and Chung. 2000). همچنین محققان گزارش دادند که عصاره-های متانولی *Everniastrum sorocheilum*، *Usnea roccellina* و *Cladonia confusa* از جوانه‌زنی و رشد ریشه شبدر قرمز (*Trifolium pratense*) جلوگیری می‌کند (Nieves *et al*., 2011). فنولیک‌های استخراج شده از گلسنگ *Cladonia verticillaris* باعث تغییراتی در ساختار ریشه و برگ‌های نهال کاهو می‌شود که پتانسیل آن را به عنوان علف‌کش‌های زیستی قوی نشان می‌دهد (Tigre, 2014). گردو سیاه (*Juglans nigra*) دارای اثرات آللوپاتیک است و عصاره آن به صورت تجاری به عنوان یک علف‌کش بیولوژیکی فرموله شده است (Shrestha, 2009). یک محصول تجاری مبتنی بر عصاره گردوی سیاه (NatureCur®, Redox Chemicals, LLC, Burley, ID, USA) بطور کامل از رشد *Conyza canadensis* و *Conyza bonariensis* در غلظت ۳۳/۳٪ جلوگیری کرد که پتانسیل آن را به عنوان یک علف‌کش زیستی، قبل و بعد از ظهور علف هرز داشت (Shrestha. 2009). روغن‌های فرار از برگ‌های *Eucalyptus citriodora* باعث آسیب شدید به علف‌هرز *Parthenium hysterophorus* شد (Singh *et al*., 2005). هر اثری که یک جزء فعال اسانس بر روی یک گونه گیاهی هدف داشته باشد، همیشه در برابر گونه‌های دیگر حفظ نمی‌شود، حتی اگر آنها در یک خانواده یا جنس باشند (Vokou *et al*., 2003). این یک ویژگی حیاتی است. در نتیجه، هدف اصلی، کشف موثرترین مواد شیمیایی برای گونه‌های مختلف علف‌های هرز است. علاوه بر این، این ترکیبات می‌توانند در موقعیت‌های خاص، بطور مستقل عمل کنند، اما در موقعیت‌های دیگر به صورت هم افزایی یا آنتاگونیستی عمل می‌کنند. بنابراین، ماهیت تعامل را نمی‌توان بطور کلی براساس مواد شیمیایی فردی که به تنهایی عمل می‌کنند، پیش بینی کرد (Vokou *et al*., 2003).

علف‌کش‌های تجاری بر پایه اسانس‌ها

گیاهان، سرشار از محتوای اسانس هستند و از عصاره‌های اسانس با اثرات آللوپاتیک می‌توان برای مدیریت علف‌های هرز استفاده کرد (Ramezani *et*

al., 2008). در میان علف‌کش‌های آلی تجاری مبتنی بر اسانس‌ها و/یا ترکیبات آنها که عمدتاً در بازار ایالات متحده موجود است، باید به این موارد اشاره کرد: علف‌کش‌های مبتنی بر اسانس میخک. اسانس مرزه، اسانس دارچین، اسانس آویشن قرمز *Thymus zygis* L.، اسانس *Cymbopogon citratus*، d-limonene یکی از ترکیبات اصلی در بسیاری از اسانس‌های مرکبات، مانند پرتقال (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck)، لیمو (*C. limon*) یا ماندارین (*Citrus reticulata* Blanco). و اوژنول، ترکیب اصلی اسانس میخک می‌باشد. محصولات تجاری موجود عبارتند از: GreenMatch (۵۵ درصد دی-لیمونن)، Matratec (۵۰ درصد روغن میخک)، WeedZap (٤٥٪روغن میخک + ٤٥٪ روغن دارچین)، GreenMatch EX (۵۰ درصد روغن علف لیمو)، Avenger Weed Killer (۷۰ درصد d-limonene) و Weed Slayer (٦ درصد اوژنول) (Shaffer, 2020) BioWeed مشتق شده از *Pinus radiata* و Beloukha مشتق شده از *Brassica napus* می‌باشد (Verdeguer *et al*., 2020; Hasan *et al*., 2021).

جدول ۱- نمونه‌هایی از عصاره و اسانس گیاهان دارویی با خواص علف‌کشی

Table 1- Examples of extracts and essences of medicinal plants with herbicidal properties

اسانس گیاه دارویی	گیاه هدف	منبع
Achillea gypsicola- Achillea biebersteinii	*Amaranthus retroflexus* *Chenopodium album* *Cirsium arvense* *Lactuca serriola* *Rumex crispus*	Kordali *et al*., 2009
Angelica glauca	*Lemna minor*	Irshad *et al*., 2012
Citrus x limon L.	*Portulaca oleracea*	Blázquez and Carbó, 2015
Citrus aurantiifolia	*Avena fatua* *Echinochloa crus-galli* *Phalaris minor*	Fagodia *et al*., 2017
Coriandrum sativum L	*Amaranthus retroflexus* *Chenopodium album* *Echinochloa crus-galli*	Sumalan *et al*., 2019
Eucalyptus spp	*Annual ryegrass*	Li *et al*., 2020
	Echinochloa crus-galli *Lolium multiflorum* *Nicotiana glauca*	Ibáñez and Blázquez, 2019
	Phalaris minor	Batish *et al*., 2007
	Parthenium hysterophorus	Singh *et al*., 2008
	Portulaca oleracea	Ibáñez and Blázquez, 2019

	Sinapis arvensis	Ben Ghnaya *et al*., 2013
	Phalaris canariensis	Zhang *et al*., 2012
Origanum acutidens	*Amaranthus retroflexus* *Rumex crispus* *Chenopodium album*	Kordali *et al*., 2008
Origanum vulgare L	*Hordeum vulgare* *Lepidium sativum*	Grul'ová *et al*., 2020
	Matricaria chamomilla L	Frabboni *et al*., 2019
	Sinapsis alba *Triticum aestivum*	Grul'ová *et al*., 2020
Peumus boldus	*Portulaca oleracea*	Blázquez and Carbó, 2015
Pinus nigra	*Phalaris canariensis* *Trifolium campestre* *Sinapis arvensis*	Amri *et al*., 2017
Pinus pinea	*Sinapis arvensis* *Raphanus raphanistrum* *Lolium rigidum*	Amri *et al*., 2012
Plectranthus rugosus	*Lemna minor*	Irshad *et al*., 2012
Rosmarinus officinalis	*Amaranthus retroflexus*	Alipour *et al*., 2019
	Matricaria chamomilla L	Frabboni *et al*., 2019
	Phalaris minor	Ben Kaab *et al*., 2019
	Rhaphanus sativus	Alipour *et al*., 2019
	Silybum marianum *Trifolium incarnatum*	Ben Kaab *et al*., 2019
Syzygium aromaticum	*Common lambsquarters* *Redwood pigweed*	Bainard *et al*., 2006
Tagetes erecta	*Echinochloa crus-galli L*	Laosinwattana *et al*., 2018
Tanacetum aucheranum	*Amaranthus retroflexus* *Chenopodium album* *Rumex crispus*	Salamci *et al*., 2007
Tanacetum chiliophyllum	*Amaranthus retroflexus* *Chenopodium album* *Rumex crispus*	
Tetraclinis articulata	*Sinapis arvensis* *Phalaris canariensis*	Ben Ghnaya *et al*., 2016
Valeriana wallichii	*Lemna minor*	Irshad *et al*., 2012

نتیجه‌گیری کلی

در سال‌های اخیر، تحقیقات در مورد پتانسیل علف‌کشی عصاره و اسانس گیاهان دارویی و ترکیبات آنها به شدت افزایش یافته است. اسانس‌ها به دلیل فعالیت سمی گیاهی بالا، نامزدهای امیدوار کننده‌ای برای توسعه محصولات جدید بالقوه سازگار با محیط زیست هستند. مزیت اصلی استفاده از عصاره و اسانس گیاهان دارویی به عنوان علف‌کش‌های زیستی به جای علف‌کش‌های معمولی این است که کاهش شدید خطر آلودگی هوا و خاک به میزان قابل توجهی خواهد بود. در آینده، دانش در مورد ترپنوئیدها با مکانیسم‌های عمل شناخته شده، امکان توسعه علف‌کش‌های طبیعی را فراهم می‌آورد که می‌تواند از هم افزایی بالقوه در بین مولکول‌های منفرد بهره‌برداری کند، بنابراین غلظت‌های کاربرد را کاهش دهد و همچنان محصولات علف‌کشی را داشته باشد که می‌توانند بطور همزمان چندین هدف را مورد هدف قرار دهند که به جلوگیری از توسعه مقاومت کمک می‌کند. تمام پیشرفت‌های به دست آمده نشان می‌دهد که در سال‌های آینده علف‌کش‌های زیستی جدید مبتنی بر اسانس‌ها یا براساس ترکیبات آن‌ها نیز در بازار تولید خواهند شد. فن‌آوری علف‌کش‌های زیستی می‌تواند به عنوان یک جزء در استراتژی‌های مدیریت یکپارچه علف‌های هرز برای کمک به جلوگیری از مقاومت به علف کش‌ها، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش عملکرد محصول استفاده شود. در حالی که تلاش‌های قابل توجهی برای توسعه علف‌کش‌ها زیستی انجام شده است، تعداد کمی برای استفاده ثبت شده‌اند. تحقیقات آینده باید بر توسعه علف‌کش‌های زیستی مقرون به صرفه‌تر و کارآمدتر و همچنین بهینه‌سازی استفاده از آنها در سیستم‌های تولید متمرکز شود.

منابع

1) Abd El-Gawad, A.M., El-Amier, YA. and G, Bonanomi. 2018. Allelopathic activity and chemical composition of *Rhynchosia minima* (L.) DC. Essential oil from Egypt. *Chemistry & Biodiversity*, 15: e1700438.
2) Abd El-Gawad, A.M., El-Amier, Y.A. and G, Bonanomi. 2018. Essential oil composition, antioxidant and allelopathic activities of *Cleome droserifolia* (Forssk.) Delile. *Chemistry & Biodiversity*, 15: e1800392.
3) Abd El-Gawad, A.M., Elshamy, A., El Gendy, A.E.N., Al-Rowaily, S.L. and A.M, Assaeed. 2019. Preponderance of *oxygenated sesquiterpenes* and diterpenes in the volatile oil constituents of *Lactuca serriola* L. revealed antioxidant and allelopathic activity. *Chemistry & Biodiversity*, 16: e1900278.
4) Abd El-Gawad, A.M., Elshamy, A.I., El Gendy, A.E.N., Gaara, A. and A.M, Assaeed. 2019. Volatiles profiling, allelopathic activity, and antioxidant potentiality of *Xanthium strumarium* leaves essential oil from Egypt: Evidence from chemometrics analysis. *Molecules*, 24: 584.
5) Abrahim, D., Francischini, A.C., Pergo, E.M., Kelmer-Bracht, A.M. and Ishii-Iwamoto, E.L. 2003. Effects of α-pinene on the mitochondrial respiration of maize seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 41: 985–91.
6) Ahn, J.K. and I.M, Chung. 2000. Allelopathic potential of rice hulls on germination and seedling growth of barnyardgrass. *Agronomy Journal*, 92: 1162–1167.
7) Ali, B., Al-Wabel, N.A., Shams, S., Ahamad, A., Khan, S.A. and F, Anwar. 2015. Essential oils used in aromatherapy:

a systemic review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5: 601–11.

8) Alipour, M., Saharkhiz, M.J., Niakousari, M. and M.S, Damyeh. 2019. Phytotoxicity of encapsulated essential oil of rosemary on germination and morphophysiological features of amaranth and radish seedlings. *Scientia Horticulturae*, 243: 131–9.
9) Amri, I., Gargouri, S., Hamrouni, L., Hanana, M., Fezzani, T. and B, Jamoussi. 2012. Chemical composition, phytotoxic and antifungal activities of *Pinus pinea* essential oil. *Journal of Pest Science*, 85: 199–207.
10) Amri, I., Hamrouni, L., Hanana, M. and B, Jamoussi. 2013. Reviews on phytotoxic effects of essential oils and their individual components: news approach for weeds management. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 4: 96–114.
11) Amri, I., Hanana, M., Jamoussi, B. and L, Hamrouni. 2017. Essential oils of *Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. laricio Maire: Chemical composition and study of their herbicidal potential. *Arabian Journal of Chemistry*, 10: S3877–S3882.
12) Angelini, L.G., Carpanese, G., Cioni, P.L., Morelli, I., Macchia, M. and G, Flamini. 2003. Essential oils from Mediterranean Lamiaceae as weed germination inhibitors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 6158–6164.
13) Araniti, F., Landi, M., Lupini, A., Sunseri, F., Guidi, L. and M, Abenavoli. 2018. *Origanum vulgare* essential oils inhibit glutamate and aspartate metabolism altering the photorespiratory pathway in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 231: 297–309.
14) Arminante, F., De Falco, E., De Feo, V., De Martino, L., Mancini, E. and E, Quaranta. 2006. Allelopathic activity of essential oils from Mediterranean Labiatae. In Proceedings of the I International Symposium on the Labiatae: Advances in Production, Biotechnology and Utilisation 723, Sanremo, Italy, 22–25 February pp. 347–356.
15) Arunachalam, K., Balogun, S.O., Pavan, E., de Almeida, G.V.B., de Oliveira, R.G., Wagner, T., Cechinel Filho, V. and D.T, de Oliveira Martins. 2017. Chemical characterization, toxicology and mechanism of gastric antiulcer action of essential oil from *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms in the in vitro and in vivo experimental models. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 94: 292–306.
16) Assaeed, A., Elshamy, A., El Gendy, A.E.N., Dar, B., Al-Rowaily, S. and A, Abd El-Gawad. 2020. Sesquiterpenes rich essential oil from above ground parts of *Pulicaria somalensis* exhibited antioxidant activity and allelopathic effect on weeds. *Agronomy*, 10: 399.
17) Bainard, L.D., Isman, M.B. and M.K, Upadhyaya. 2006. Phytotoxicity of clove oil and its primary constituent eugenol and the role of leaf epicuticular wax in the susceptibility to these essential oils. *Weed Science*, 54: 833–837.
18) Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. and M, Idaomar. 2008. Biological effects of essential oils–a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46: 446–475.
19) Baser, K.H.C. and G, Buchbauer. 2020. Handbook of Essential Oils, 3rd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, ISBN 9781351246460.
20) Batish, D.R., Singh, H.P., Setia, N., Kohli, R.K., Kaur, S. and S.S, Yadav. 2007. Alternative control of littleseed canary grass using eucalypt oil. *Agronomy for Sustainable Development*, 27: 171–177.
21) Battaglin, W.A., Meyer, M., Kuivila, K.M. and J, Dietze. 2014. Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in U.S. soils, surface water, groundwater, and precipitation. *The Journal of the American Water Resources Association* (JAWRA), 50: 275–290.
22) Ben Ghnaya, A., Amri, I., Hanana, M., Gargouri, S., Jamoussi, B., Romane, A. and L, Hamrouni. 2016. *Tetraclinis articulata* (Vahl.) Masters essential oil from Tunisia: Chemical characterization and herbicidal and antifungal activities assessment. *Industrial Crops and Products*, 83: 113–117.
23) Ben Ghnaya, A., Hanana, M., Amri, I., Balti, H., Gargouri, S., Jamoussi, B. and L,

Hamrouni. 2013. Chemical composition of *Eucalyptus erythrocorys* essential oils and evaluation of their herbicidal and antifungal activities. *Journal of Pest Science*, 86: 571–577.

24) Ben Kaab, S., Rebey, I.B., Hanafi, M., Berhal, C., Fauconnier, M.L., De Clerck, C., Ksouri, R. and H, Jijakli. 2019. *Rosmarinus officinalis* essential oil as an effective antifungal and herbicidal agent. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17: e1006.
25) Blázquez, M.A. and E, Carbó. 2015. Control of *Portulaca oleracea* by boldo and lemon essential oils in different soils. *Industrial Crops and Products*, 76: 515–521.
26) Blázquez, M.A. 2014. Role of natural essential oils in sustainable agriculture and food preservation. *Journal of Scientific Research and Reports*, 3: 1843–1860.
27) Bozok, F. and Z, Ulukanli. 2016. Volatiles from the aerial parts of east Mediterranean clary sage: Phytotoxic activity. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 19: 1192–1198.
28) Chaimovitsh, D., Shachter, A., Abu-Abied, M., Rubin, B., Sadot, E. and N, Dudai. 2017. Herbicidal activity of monoterpenes is associated with disruption of microtubule functionality and membrane integrity. *Weed Science*, 65: 19– 30.
29) Ciriminna, R., Fidalgo, A., Ilharco. LM. and M, Pagliaro. 2019. Herbicides based on pelargonic acid: Herbicides of the bioeconomy. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 13: 1476–1482.
30) Colosio, C., Rubino, F.M. and A, Moretto. 2017. Pesticides. In International Encyclopedia of Public Health; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 454–462.
31) Damtie, D., Braunberger, C., Conrad, J., Mekonnen, Y. and U, Beifuss. 2019. Composition and hepatoprotective activity of essential oils from Ethiopian thyme species (*Thymus serrulatus* and *Thymus schimperi*). *Journal of Essential Oil Research*, 31: 120–128.
32) De Clerck, C., Maso, S.D., Parisi, O., Dresen, F., Zhiri, A. and M.H, Jijakli. 2020. Screening of antifungal and antibacterial activity of 90 commercial essential oils against 10 pathogens of agronomical importance. *Foods*, 9: 1418.
33) De María, N., Becerril, J.M., Garcia-Plazaola, J.I., Hernández, A., De Felipe, M.R. and M, Fernández-Pascual. 2006. New insights on glyphosate mode of action in nodular metabolism: Role of shikimate accumulation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 2621–2628.
34) De Martino, L., Mancini, E., De Almeida, L.F.R. and V, De Feo. 2010. The antigerminative activity of twentyseven monoterpenes. *Molecules*, 15: 6630–6637.
35) Deng, W., Liu, K., Cao, S., Sun, J., Zhong, B. and J, Chun. 2020. Chemical composition, antimicrobial, antioxidant, and antiproliferative properties of grapefruit essential oil prepared by molecular distillation. *Molecules*, 25: 217.
36) Donsì, F. and G, Ferrari. 2016. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of Biotechnology*, 233: 106–120.
37) Duke, S.O., Pan, Z., Bajsa-Hirschel, J. and C.D, Boyette. 2022. The potential future roles of natural compounds and microbial bioherbicides in weed management in crops. *Advances in Weed Science*, 40: e020210054
38) Duke, S.O. 2020. Glyphosate: Uses other than in glyphosate-resistant crops, mode of action, degradation in plants, and effects on non-target plants and agricultural microbes. In Reviews of Environmental Contamination and Toxicology; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.
39) Elshamy, A., Abd El-Gawad, A.M., El-Amier, Y.A., El Gendy, A. and S, Al-Rowaily. 2019. Interspecific variation, antioxidant and allelopathic activity of the essential oil from three *Launaea* species growing naturally in heterogeneous habitats in Egypt. *Flavour and Fragrance Journal*, 34: 316–328.
40) Elshamy, A.I., Ammar, N.M., Hassan, H.A., Al-Rowaily, S.L., Raga, T.R., El Gendy, A. and A.M, Abd El-Gawad. 2020. Essential oil and its nanoemulsion of

Araucaria heterophylla resin: Chemical characterization, anti inflammatory and antipyretic activities. *Industrial Crops and Products*, 148: 112272.

41) Fagodia, S.K., Singh, H.P., Batish, D.R. and R.K, Kohli. 2017. Phytotoxicity and cytotoxicity of *Citrus aurantiifolia* essential oil and its major constituents: Limonene and citral. *Industrial Crops and Products*, 108: 708–715.
42) Frabboni, L., Tarantino, A., Petruzzi, F. and G, Disciglio. 2019. Bio Herbicidal Effects of Oregano and Rosemary Essential Oils on Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) Crop in Organic Farming System. *Agronomy*, 9: 475.
43) Francis, F., Jacquemyn, H., Delvigne, F. and B, Lievens. 2020. From Diverse Origins to Specific targets: Role of microorganisms in indirect pest biological control. *Insects*, 11: 533.
44) Fukuda, M., Tsujino, Y., Fujimori, T., Wakabayashi, K. and P, Böger. 2004. Phytotoxic activity of middle chain fatty acids I: Effects on cell constituents. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 80: 143–150.
45) Giannini, V., Harris, J.R, Todde, P. and J.S, McElroy. 2022. Concurrent weed growth suppression with essential oils and species-specific response to fractionated coconut oil. *Industrial Crops and Products*, 182: 114850.
46) González-Mas, M.C., Rambla, J.L., López-Gresa, M.P., Blázquez, M.A. and A, Granell. 2019. Volatile compounds in Citrus essential oils: A comprehensive review. *Frontiers in Plant Science*, 10: 12.
47) Gruľová, D., Caputo, L., Elshafie, H.S., Baranová, B., De Martino, L., Sedlák, V., Gogal'ová, Z., Porác˘ová, J., Camele, I. and V, De Feo. 2020. Thymol Chemotype *Origanum vulgare* L. Essential Oil as a Potential Selective Bio Based Herbicide on Monocot Plant Species. *Molecules*, 25: 595.
48) Gruľová, D., Baranová, B., Sedlák, V., De Martino, L., Zheljazkov, V.D., Konečná, M., Poráčová, J., Caputo, L. and V, De Feo. 2022. *Juniperus horizontalis* Moench: Chemical composition, herbicidal and insecticidal activities of its essential oil and of its main component, sabinene. *Molecules*, 27: 8408.
49) Gupta, I., Singh, R., Muthusamy, S., Sharma, M., Grewal, K., Singh, H.P. and D.R, Batish. 2023. Plant Essential Oils as Biopesticides: Applications, Mechanisms, Innovations, and Constraints. *Plants*, 12: 2916.
50) Hanana, M., Mansour, M.B., Algabr, M., Amri, I., Gargouri, S. and A, Romane. 2017. Potential use of essential oils from four Tunisian species of Lamiaceae: biological alternative for fungal and weeds control. *Records of Natural Products*, 11: 258–69.
51) Hasan, M., Mokhtar, A.S., Rosli, A.M., Hamdan, H., Motmainna, M. and M.S, Ahmad-Hamdani. 2021. Weed control efficacy and crop weed selectivity of a new bioherbicide Weed Lock. *Agronomy*, 11: 1488.
52) Ibáñez, M.D. and M.A, Blázquez. 2019. Phytotoxic Effects of Commercial *Eucalyptus citriodora*, *Lavandula angustifolia*, and *Pinus sylvestris* Essential Oils on Weeds, Crops, and Invasive Species. *Molecules*, 24: 2847.
53) Irshad, M., Aziz, S. and H, Hussain. 2012. GC-MS Analysis and Antifungal Activity of Essential oils of *Angelica glauca*, *Plectranthus rugosus* and *Valeriana wallichii*. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 15: 15–21.
54) Jugulam, M. 2017. Biology, Physiology and Molecular Biology of Weeds; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
55) Jurado, A., Fernandes, M., Videira, R., Peixoto, F. and J, Vicente. 2011. Herbicides: The face and the reverse of the coin. An in vitro approach to the toxicity of herbicides in non target organisms. In Herbicides and Environment; Kortekamp, A.E., Ed.; InTech: Rijeka, Croatia. pp. 3–44.
56) Juroszek, P. and A, Von Tiedemann. 2011. Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. *Plant Pathology*, 60: 100–112.

Eucalyptus essential oils. *Pest Management Science*, 76: 917–927.

66) Lu, H., Yu, Q., Han, H., Owen, M.J. and S.B, Powles. 2019. Metribuzin resistance in a wild radish (*Raphanus raphanistrum*) population via both psbA gene mutation and enhanced metabolism. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67: 1353–1359.
67) Maes, C., Bouquillon, S. and M.L, Fauconnier. 2019. Encapsulation of essential oils for the development of biosourced pesticides with controlled release: A review. *Molecules*, 24: 2539.
68) Martínez, M.A., Ares, I., Rodríguez, J.L., Martínez, M., Martínez-Larrañaga, M.R. and A, Anadón. 2018. Neurotransmitter changes in rat brain regions following glyphosate exposure. *Environmental Research*, 161: 212–219.
69) Martino, L.D., Formisano, C., Mancini, E., Feo, V.D., Piozzi, F. and D, Rigano. 2010. Chemical composition and phytotoxic effects of essential oils from four *Teucrium* species. *Natural Product Communications*, 5: 1934578X1000501230.
70) Mithila, J., Hall, J.C., Johnson, W., Kelley, K.B. and D.E, Riechers. 2011. Evolution of resistance to auxinic herbicides: Historical perspectives, mechanisms of resistance, and implications for broadleaf weed management in agronomic crops. *Weed Science*, 59: 445–457.
71) Motmainna, M., Juraim, A.S.B., Uddin, J.M.K., Asib, N.B., Islam, A.M. and M, Hasan. 2021. Assessment of allelopathic compounds to develop new natural herbicides: A review. *Allelopathy Journal*, 52: 21–40.
72) Nieves, J.A., Acevedo, L.J., Valencia-Islas, N.A., Rojas, J.L. and R, Dávila. 2011. Fitotoxicidad de extractos metanólicos de los líquenes *Everniastrum sorocheilum*, *Usnea roccellinay Cladonia confusa*. *Glalie*, 4: 96.
73) Ninkuu, V., Zhang, L., Yan, J., Fu, Z., Yang, T. and H, Zeng. 2021. Biochemistry of terpenes and recent advances in plant protection. *International Journal of Molecular Sciences*, 22: 5710.
57) Kaur, S., Rana, S., Singh, H.P., Batish, D.R. and R.K, Kohli. 2011. Citronellol disrupts membrane integrity by inducing free radical generation. *Zeitschrift Naturforschung* C. 66: 260–6.
58) Khare, P., Srivastava, S., Nigam, N., Singh, A.K. and S, Singh. 2019. Impact of essential oils of *E. citriodora*, *O. basilicum* and *M. arvensis* on three different weeds and soil microbial activities. *Environmental Technology & Innovation*, 14: 100343.
59) Kim, K.H., Kabir, E. and S.A, Jahan. 2017. Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575: 525–535.
60) Kordali, S., Cakir, A., Akcin, T.A., Mete, E., Akcin, A., Aydin, T. and H, Kilic. 2009. Antifungal and herbicidal properties of essential oils and nhexane extracts of *Achillea gypsicola* HubMor and *Achillea biebersteinii* Afan. (Asteraceae). *Industrial Crops and Products*, 29: 562–570.
61) Kordali, S., Cakir, A., Ozer, H., Cakmakci, R., Kesdek, M. and E, Mete. 2008. Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acutidens* and its three components, carvacrol, thymol and p-cymene. *Bioresource Technology*, 99: 8788–8795.
62) Kordali, S., Kabaagac, G., Sen, İ., Yilmaz, F. and A, Najda. 2022. Phytotoxic effects of three *Origanum* species extracts and essential oil on seed germinations and seedling growths of four weed species. *Agronomy*, 12: 2581.
63) Koul, O., Walia, S. and G.S, Dhaliwal. 2008. Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. *Biopesticides International*, 4: 63–84.
64) Laosinwattana, C., Wichittrakarn, P. and M, Teerarak. 2018. Chemical composition and herbicidal action of essential oil from *Tagetes erecta* L. leaves. *Industrial Crops and Products*, 126: 129–134.
65) Li, A.., Wu, H., Feng, Y., Deng, S., Hou, A., Che, F., Liu, Y., Geng, Q., Ni, H. and Y, Wei. 2020. A strategy of rapidly screening out herbicidal chemicals from

74) Nishida, N., Tamotsu, S., Nagata, N., Saito, C. and A, Sakai. 2005. Allelopathic effects of volatile monoterpenoids produced by *Salvia leucophylla*: inhibition of cell proliferation and DNA synthesis in the root apical meristem of *Brassica campestris* seedlings. *Journal of Chemical Ecology*, 31: 1187–203.

75) Ootani, M.A., dos Reis, M.R., Cangussu, A.S.R., Capone, A., Fidelis, R.R. and W, Oliveira. 2017. Phytotoxic effects of essential oils in controlling weed species *Digitaria horizontalis* and *Cenchrus echinatus*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 12:59–65.

76) Pateiro, M., Barba, F.J., Domínguez, R., Sant'Ana, A.S., Khaneghah, A.M. and M, Gavahian. 2018. Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: a review. *Food Research International*, 113: 156–66.

77) Poonpaiboonpipat, T., Pangnakorn, U., Suvunnamek, U., Teerarak, M., Charoenying, P. and C, Laosinwattana. 2013. Phytotoxic effects of essential oil from *Cymbopogon citratus* and its physiological mechanisms on barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). *Industrial Crops and Products*, 41: 403–7.

78) Ramezani, S., Saharkhiz, M.J., Ramezani, F. and M.H, Fotokian. 2008. Use of essential oils as bioherbicides. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 11: 319–327.

79) Raveau, R., Fontaine, J. and A, Lounès-Hadj Sahraoui. 2020. Essential oils as potential alternative biocontrol products against plant pathogens and weeds: A review. *Foods*, 9: 365.

80) Regnault-Roger, C., Vincent, C. and J.T, Arnason. 2012. Essential oils in insect control: Low risk products in a high stake's world. *Annual Review of Entomology*, 57: 405–424.

81) Richardson, J., Grosskopf, C., Hamey, P.Y., Machera, K., Martin, S., Jacobi, L.E. and M, Tiramani. 2014. Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products. *EFSA Journal*, 12: 3874.

82) Rios, J.L. 2016. Essential oils: What they are and how the terms are used and defined. In Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. pp. 3–10.

83) Sabarwal, A., Kumar, K. and R.P, Singh. 2018. Hazardous effects of chemical pesticides on human health Cancer and other associated disorders. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 63: 103–114.

84) Salamci, E., Kordali, S., Kotan, R., Cakir, A. and Y, Kaya. 2007. Chemical compositions, antimicrobial and herbicidal effects of essential oils isolated from Turkish *Tanacetum aucheranum* and *Tanacetum chiliophyllum* var. chiliophyllum. *Biochemical Systematics and Ecology*, 35: 569–581.

85) Scavo, A. and G, Mauromicale. 2020. Integrated weed management in herbaceous field crops. *Agronomy*, 10: 466.

86) Shaffer, G. 2020. Organic Herbicides. Available online: https://extension.sdstate.edu/organic-herbicides (accessed on 12 November.

87) Shaner, D.L. 2014. Lessons learned from the history of herbicide resistance. *Weed Science*, 62: 427–431.

88) Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, G.C., Daglia, M., Sharifi-Rad, M., Valussi, M., Tundis, R., Sharifi-Rad, M., Loizzo, M.R. and A.O, Ademiluyi. 2017. Biological activities of essential oils: From plant chemoecology to traditional healing systems. *Molecules*, 22: 70.

89) Shrestha, A. 2009. Potential of a black walnut (*Juglans nigra*) extract product (Naturecur) as a pre and post-emergence bioherbicide. *Journal of Sustainable Agriculture*, 33: 810–822.

90) Singh, H.P., Batish, D.R., Setia, N. and R.K, Kohli,. 2005. Herbicidal activity of volatile oils from *Eucalyptus citriodora* against *Parthenium hysterophorus*. *Annals of Applied Biology*, 146: 89–94.

91) Singh, S. and S, Tiwari. 2020. Responses of plants to herbicides: recent advances and future prospectives. *Plant Life Under Changing Environ*, 237–50.

92) Sumalan, R.M., Alexa, E., Popescu, I., Negrea, M., Radulov, I., Obistioiu, D. and I, Cocan. 2019. Exploring Ecological Alternatives for Crop Protection Using *Coriandrum sativum* Essential Oil. *Molecules*, 24: 2040.
93) Swamy, M.K., Akhtar, M.S. and U.R, Sinniah. 2016. Antimicrobial properties of plant essential oils against human pathogens and their mode of action: an updated review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016: 21.
94) Tanoh, E.A., Boué, G.B., Nea, F., Genva, M., Wognin, E.L., LeDoux, A., Martin, H., Tonzibo, Z.F., Frederich, M. and M.L, Fauconnier. 2020. Seasonal effect on the chemical composition, insecticidal properties and other biological activities of *Zanthoxylum leprieurii* guill. & perr. essential oils. *Foods*, 9: 550.
95) Thomas, B., Murphy, D.J. and B.G, Murray. 2016. Encyclopedia of Applied Plant Sciences. Waltham, MA: Academic Press.
96) Tigre, R.C. 2014. Investigação dos Mecanismos de Ação Alelopática de Cladonia Verticillaris Sobre Lactuca Sativa e Solanum lycopersicum. Ph.D. Theses, Department of Geographical Sciences, Federal University of Pernambuco, Brazil,
97) Tsao, R., Romanchuk, F., Peterson, C.J. and J.R, Coats. 2002. Plant growth regulatory effect and insecticidal activity of the extracts of the tree of heaven (*Ailanthus altissima* L.). BMC *Ecology*, 2: 1.
98) Tworkoski, T. 2002. Herbicide effects of essential oils. *Weed Science*, 50: 425–431.
99) Van Bruggen, A., He, M., Shin, K., Mai, V., Jeong, K., Finckh, M. and J, Morris. 2018. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of the Total Environment*, 616–617, 255–268.
100) Verdeguer, M., Blázquez, M.A. and H, Boira. 2009. Phytotoxic effects of *Lantana camara*, *Eucalyptus camaldulensis* and *Eriocephalus africanus* essential oils in weeds of Mediterranean summer crops. *Biochemical Systematics and Ecology*, 37: 362–369.
101) Verdeguer, M., García-Rellán, D., Boira, H., Pérez, E., Gandolfo, S. and M.A, Blázquez. 2011. Herbicidal activity of *Peumus boldus* and *Drimys winterii* essential oils from Chile. *Molecules*, 16: 403–411.
102) Verdeguer, M., Sánchez-Moreiras, A.M. and F, Araniti. 2020. Phytotoxic effects and mechanism of action of essential oils and terpenoids. *Plants*, 9: 1571.
103) Vishwakarma, G. and S, Mittal. 2014. Bioherbicidal potential of essential oil from leaves of *Eucalyptus tereticornis* against *Echinochloa crus-galli* L. *Journal of Biopesticides*, 7: 47.
104) Vokou, D., Douvli, P., Blionis, G.J. and J.M, Halley. 2003. Effects of monoterpenoids, acting alone or in pairs, on seed germination and subsequent seedling growth. *Journal of Chemical Ecology*, 29: 2281–301.
105) Werrie, P.Y., Durenne, B., Delaplace, P. and M.L, Fauconnier. 2020. Phytotoxicity of essential oils: Opportunities and constraints for the development of biopesticides. A review. *Foods*, 9: 1291.
106) Zhang, J., An, M., Wu, H., Li Liu, D. and R, Stanton. 2012. Chemical composition of essential oils of four Eucalyptus species and their phytotoxicity on silverleaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) in Australia. *Plant Growth Regulation*, 68: 231–237.
107) Zhang, L., Rana, I., Shaffer, R.M., Taioli, E. and L, Sheppard. 2019. Exposure to glyphosate-based herbicides and risk for non-Hodgkin lymphoma: A meta-analysis and supporting evidence. *Reviews in Mutation Research*, 781: 186–206.