علـــوم محـــیـــطی 13 ، پـاییـز 1385
ENVIRONMENTAL SCIENCES 13 , Autumn 2006
69-80

بررسی تاثیرات گازوئیل بر میزان جوانه زنی و رشد گیاهچه برخی از گونه‌های زراعی

زاهده چاقری
دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده علوم زیستی ، دانشگاه شهید بهشتی
فاطمه آقایاری
دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیولوژی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده علوم زیستی ، دانشگاه شهید بهشتی
غلامحسین ابراهیمی پور
دکترای میکروبیولوژی، استادیار دانشکده علوم زیستی، دانشگاه شهید بهشتی
حسین شاکر بازار نو
دکترای فیزیولوژی گیاهی، استادیار دانشکده علوم زیستی، دانشگاه شهید بهشتی
فرانسواز برنارد
دکترای فیزیولوژی گیاهی، دانشیار دانشکده علوم زیستی، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده
در این مطالعه تأثیرات آلودگی خاک در غلظت $45\ g.kg^{-1}$ گازوئیل بر میزان جوانه زنی ، وزن تر، خشک و رشد طولی اندام‌های هوایی و ریشه گونه‌های شبدر (*Trifolium repens* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، جو (*Hordeum vulgaris* L.)، گندم (*Triticum lontherium* L.)، یونجه (*Medicago sativa* L.)، گلرنگ (Carthamus tintorius L.) مورد بررسی قرار گرفت. جوانه زنی در بین تمام گونه‌های مورد بررسی دارای یک فاز تأخیر بود، با وجود این میزان جوانه زنی پس از 4 هفته فقط در گونه‌های *T. lontherium* , *M. sativa* کاهش معنی‌داری را نشان داد. در وزن تر و رشد طولی، اندام‌های هوایی و ریشه تمام گیاهان کاهش مشاهده شد، ولی افزایش وزن خشک در سه گیاه ذرت، گلرنگ و یونجه بر خلاف سایر گیاهان مشاهده شد. همچنین دو گونه ذرت و گلرنگ در غلظت‌های 9 ، 13/5 و 22/5 درصد ($g\ .kg^{-1}$ soil، 90، 135و225) مورد بررسی قرار گرفتند، که در هر دو گونه با وجود جوانه زنی به میزان نسبتاً زیاد در غلظت 13/5 درصد در غلظت 22/5 درصد جوانه زنی مشاهده نشد. کاهش رشد طولی ساقه و ریشه و نیز وزن تر ساقه و ریشه در هر دو گونه در غلظت‌های 9 و 13/5 درصد مشاهده شد. در این غلظت‌ها افزایش وزن خشک در ریشه گلرنگ و هر دو بخش ساقه و ریشه ذرت مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: گیاه پالایی، رشد، هیدروکربن.

The Effects of Gas Oil on Germination and Seedling Development of Some Crop Species

Zahedeh Chaghari
M. Sc. Student in Plant Biotechnology and Phsiology, Faculty of Biological Sciences, Shahid Beheshti University
Fatemeh Aghayari
M. Sc. Student in Plant Biotechnology and Phsiology, Faculty of Biological Sciences, Shahid Beheshti University
Gholamhossein Ebrahimipour, Ph.D.
Assistant Professor, Faculty of Biological Sciences, Shahid Beheshti University
Hossein Shaker-Bazarnov, Ph.D.
Assistant Professor, Faculty of Biological Sciences, Shahid Beheshti University
Françoise Bernard, Ph. D.
Associate Professor, Faculty of Biological Sciences, Shahid Beheshti University

Abstract
The aim of the study was to determine the effect of soil contamination with gas oil (4.5 g/kg soil) on the germination in ***Trifolium repens*** L., ***Triticum lontherium*** L., ***Hordeum vulgaris*** L., ***Medicago sativa*** L., ***Carthamus tintorius*** L. and ***Zea mays*** L. Delayed seed emergence and reduced percentage germination was observed for the majority of plant species. Germination in ***M. sativa*** and ***T. lontherium*** had reduced significantly after 4 weeks. Fresh weight of root and shoot also reduced for all speices; but dry weight in shoot and root in ***Z. mays*** and ***C. tintorius*** increased. In other hand was the effects of high soil contamination were investigated on Maize and safflower (9, 13.5 and 22 g/kg soil). In two recent species significantly reduction in fresh weight of shoot and root was observed in 9, 13.5 g/kg soil, dry weight of shoot and root increased in ***Z. mays***, although this increased happened only for root of ***C. tintorius***.

Keywords:, growth, hydrocarbon, phytoremediation.

مقدمه

گیاهان سبز اولین حلقه از زنجیره اکوسیستم می‌باشند و هر گونه تأثیر زیان‌باری بر دنیای گیاهی حیات و سلامت سایر حلقه‌های این زنجیره را به خطر می‌اندازد، از سوی دیگر با توسعه صنایع و فناوری آلودگی‌های زیست محیطی رو به افزایش است. بدیهی است با انجام تحقیقات بیشتر به راه حل‌هایی برای مشکلات فعلی و جلو گیری از خطرات جدی تر در آینده می‌توان دست یافت. استفاده از سیستم‌هایی مبتنی بر گیاه سبز برای رفع یا کاهش آلودگی، بخش اعظمی از تحقیقات و مطالعات علمی را اخیراً به خود اختصاص داده است. در این راستا اصطلاح phytoremediaton (گیاه پالایی) به مفهوم استفاده و به‌کار بردن گیاهان سبز برای از بین بردن و یا کاهش آلودگی خاک، آب و رسوبات به‌کار می‌رود. با این وجود به کارگیری این فرایند برای پاکسازی آب‌های آلوده به آلاینده‌های آلی و غیر آلی جدید نبوده و به صدها سال قبل بر می‌گردد، در حالیکه کار برد این روش در زمینه آلودگی خاک یک روش جدید و رو به رشد است که مطالعه علمی زیادی در این زمینه در حال انجام است (Cunningham *et al*., 1996). از آنجا که آلودگی‌های زیست محیطی اثر تشدید کننده‌ای بر یکدیگر دارند افزایش امواج زیانبار ناشی از تخریب لایه ازن که در اثر آلاینده‌های هوا ایجاد شده است، سبب تشدید آلودگی‌های هیدرو کربنی در خاک و گیاهان می‌گردند. گازوئیل ماده‌ای با منشاء زیستی و از ذخایر موجود در طبیعت با قابلیت انحلال بسیار ضعیف در آب است که حضور آن در خاک موجب آلودگی و سمیت می‌گردد. در شرایط طبیعی از حرکت رو به پایین گازوئیل به دلیل جذب توسط مواد آلی موجود در سطح خاک ممانعت به عمل می‌آید، بنابراین آلودگی به طور سطحی در خاک و سیستم ریشه‌ای بیشتر گونه‌های گیاهی باقی می‌ماند این ویژگی سبب شده تا از این آلاینده به عنوان گزینه‌ای مناسب در فرایندهای گیاه پالایی نام برد (Adams & Duncan, 2003). هدف از این تحقیق، شناسایی گونه‌های گیاهی است که بتوانند بخوبی در خاک‌های آلوده به گازوئیل رشد کنند و به‌طور عملی در فرایند phytoremediation قابل کاربرد باشند. بر اساس مطالعات انجام گرفته در گذشته، از گرامینه‌ها به‌واسطه دارا بودن سیستم ریشه‌ای گسترده و شبکه‌ای به عنوان گیاهان مناسب در رفع آلودگی خاک و گیاه پالایی نام برده شده است (Gudin & Syratt, 1975) همچنین گیاهان خانواده بقولات به دلیل تثبیت ازت و تأمین نیتروژن مورد نیاز خاک، شانس بیشتری برای زنده مانی در خاک آلوده کسب کرده‌اند، این امر باعث شده تا این گروه از گیاهان نیز در فرایندهای گیاه پالایی مورد توجه قرار گیرند (Gudin & Syratt, 1975).

مواد و روش‌ها

انتخاب گونه‌های گیاهی

بذر گیاهان شبدر (*Trifolium repens* L.)، جو (*Hordeum vulgaris* L.)، گندم *Triticum lontherium* (L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، یونجه (*Medicago sativa* L.) از شرکت خدماتی حمایتی کشاورزی وابسته به جهاد کشاورزی و گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) از موسسه دانه‌های روغنی بذر و نهال کرج تهیه شد.

آماده‌سازی خاک

خاک مورد استفاده در این مطالعه، از باغ گل نسترن واقع در تهران تهیه و با رعایت نسبت 80 درصد خاک باغچه، 15 درصد پیت و 5 درصد پرلیت مخلوط و سپس در دمای 115°C به مدت 48 ساعت در آون استریل شد. میزان گازوئیل افزوده به خاک 4/5، 9، 13/5 و 22/5 درصد (w/w) محاسبه و جهت به دست آمدن غلظت یکنواختی از گازوئیل در همه قسمت‌های خاک ، به روش دستی به خوبی با خاک مخلوط شد.

کاشت و نگهداری

دو سری گلدان و از هر سری 5 تکرار آماده شد، در سری اول خاک معمولی و در سری دوم خاک آلوده گازوئیلی به میزان 500 گرم در هر گلدان ریخته شد. بذرها به تعداد 10عدد در عمق 1 سانتی متری خاک در هر گلدان کاشته و گلدانها در شرایط گلخانه در دمای 3°C ± 30 قرار داده شدند. در مرحله نخست آزمایش درصد گازوئیل 4/5 برای بذر گیاهان یونجه، شبدر، گندم، جو، ذرت و گلرنگ و در مرحله دوم آزمایش درصدهای گازوئیل 9، 13/5 و 22/5 در دو سری گلدان و 5 تکرار برای دو گونه ذرت و گلرنگ به کار برده شد و همان آنالیزهای قبلی انجام شد.

اندازه گیری شاخص‌های رشد

میزان جوانه زنی در هفته‌های 1،2،3 و 4 با شمارش مشخص و مورد بررسی قرار گرفت. همچنین پس از طی دوره رشدی یک ماهه، گیاهان مورد نظر از گلدان خارج و آنالیزهای مربوط به طول ریشه و ساقه، زیست توده تر و خشک اندام هوایی و ریشه انجام گرفت. به این منظور، ابتدا گیاه به دقت از خاک خارج و به آرامی زیر آب روان شستشو داده شد به نحوی که ریشه‌ها جدا نشوند ، سپس با استفاده از خط کش طول ریشه و ساقه اندازه گیری شد. به منظور جلوگیری از کاهش وزن تر، نمونه‌های گیاهی هر گلدان در کیسه نایلونی قرار داده و عمل توزین صورت گرفت. برای اندازه گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت 48 ساعت در دمای 80 درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و در نهایت توزین شدند.

اندازه گیری میزان گازوئیل باقیمانده در خاک

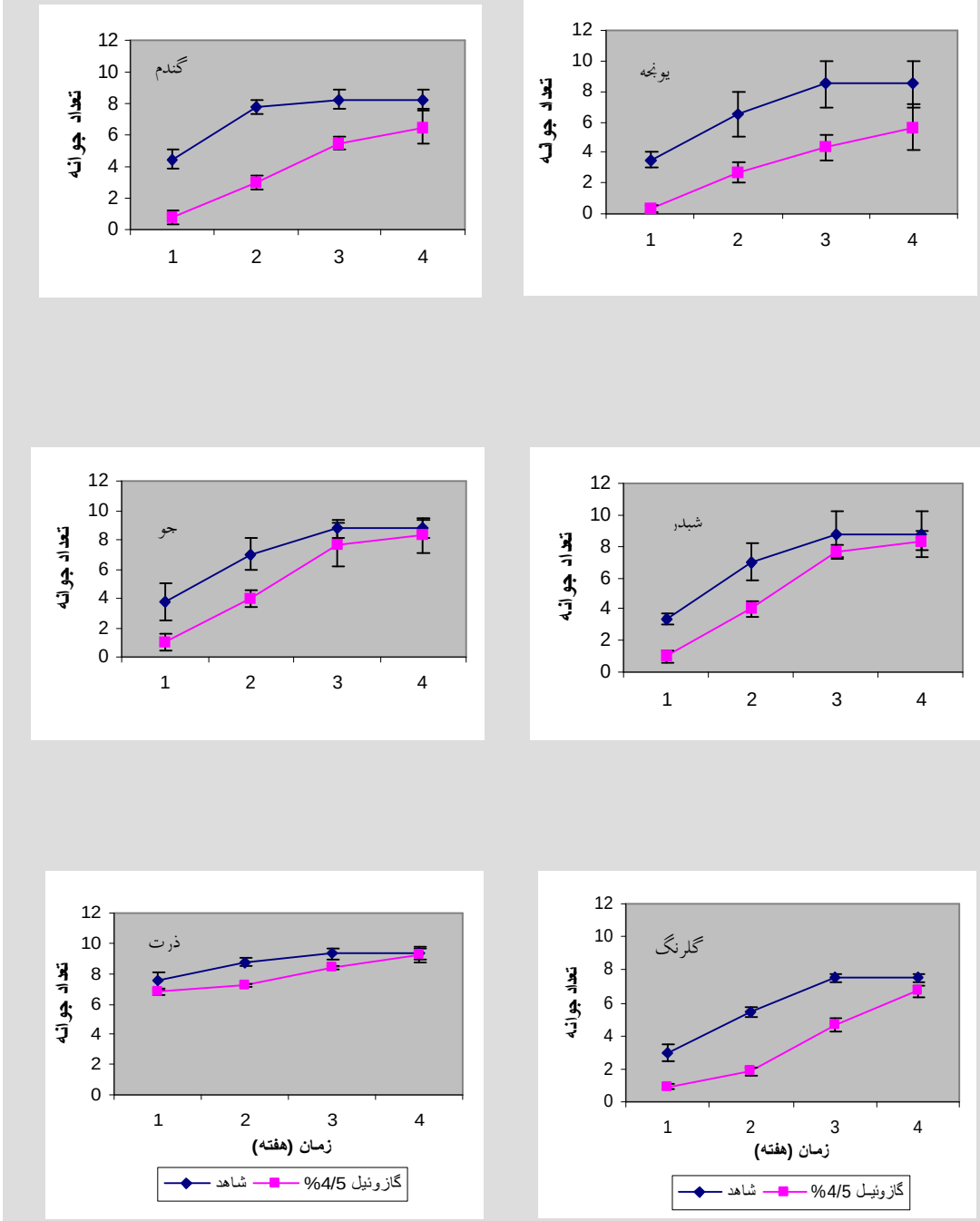
میزان گازوئیل باقیمانده در محیط کشت ذرت و گلرنگ در غلظت‌های 4/5، 9، 13/5 درصد در 2 محیط خاکی با گیاه و بدون گیاه پس از یک ماه اندازه گیری شد. جهت جداسازی گازوئیل باقی مانده در خاک، سه حلال کلروفرم، هگزان و دکان با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر بررسی و در نهایت کلروفرم انتخاب شد. از هر 4 محیط مورد بررسی، 100 گرم خاک برداشته و با 135 ml کلروفرم مخلوط و به صورت فوق اشباع درآمد. مخلوط حاصل به مدت 10 دقیقه با همزن دستی هموژن شد تا کلروفوم و گازوئیل موجود در خاک به خوبی با هم ترکیب شوند، سپس با استفاده از تور پلانکتون 10 nm، فاز مایع و جامد از هم جدا و جهت تبخیر کلروفوم موجود در فاز مایع، ظرف حاوی این مایع به مدت 3 ساعت در مقابل پنکه قرار داده شد. به این ترتیب پس از تبخیر کلروفرم، گازوئیل باقیمانده در خاک اندازه گیری شد.

آنالیزهای آماری

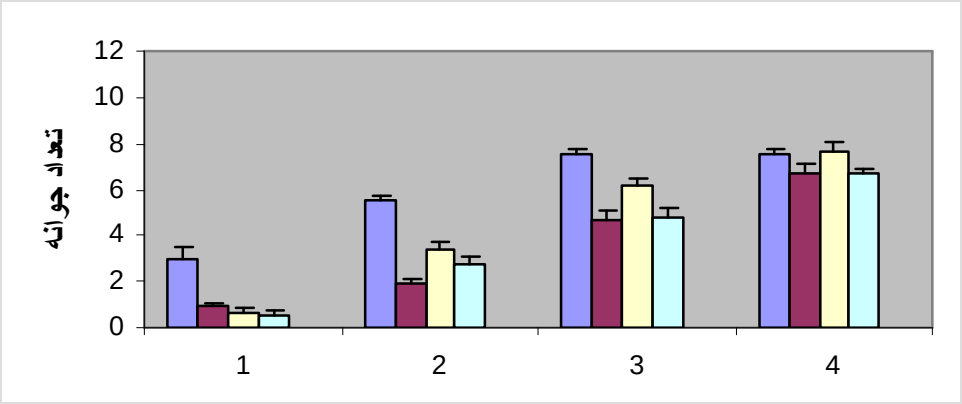
آزمایش‌ها در قالب طرح‌های کاملاً تصادفی CRD با 5 تکرار انجام شد. جهت مقایسه کلی نتایج از آنالیز واریانس ANOVA و برای مقایسه تیمارها از آزمون LSD استفاده شد، آنالیزهای آماری با کمک نرم افزارهای SPSS9 و در سطح P<0/05 صورت گرفت.

نتایج

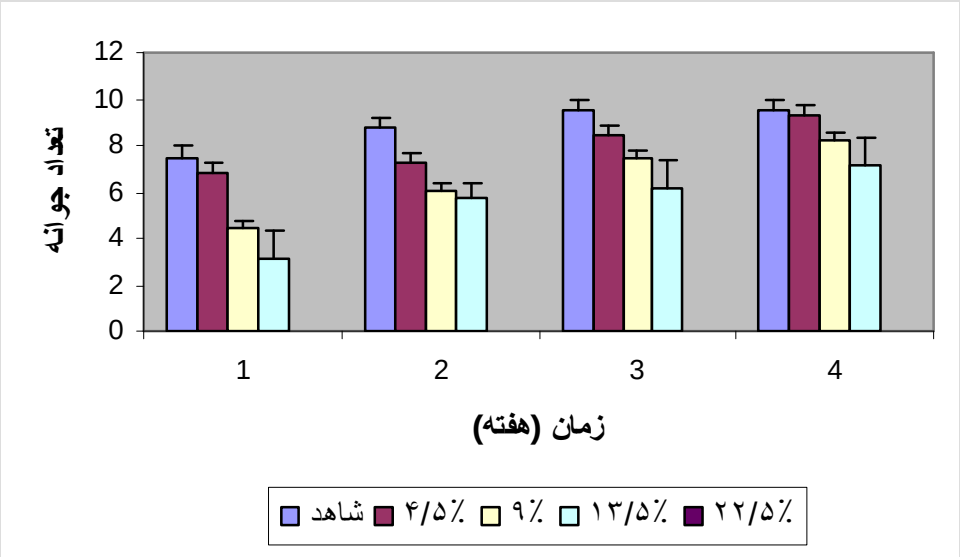
آنالیز داده‌های مربوط به جوانه زنی در طی 4 هفته یک فاز تأخیر را در همه گونه های مورد بررسی نشان داد با این وجود در پایان 4 هفته، کاهش معنی‌داری بین شاهد و تیمار در گونه‌های یونجه و گندم مشاهده شد که نشان دهنده آن است که تیمار گازوئیل بر جوانه زنی گونه‌های اخیر تأثیر عمده‌ای داشته است ولی سایر گونه‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. مقایسه جوانه زنی بین گونه‌ها، پس از 4 هفته نشان داد که بیشترین میزان جوانه زنی در تیمار گازوئیل 4/5 درصد مربوط به ذرت و کمترین میزان جوانه زنی متعلق به یونجه می باشد (شکل 1).



شکل1- تاثیر تیمار 4/5٪ گازوئیل بر جوانه زنی در طی 4 هفته (میانگین ± SE).



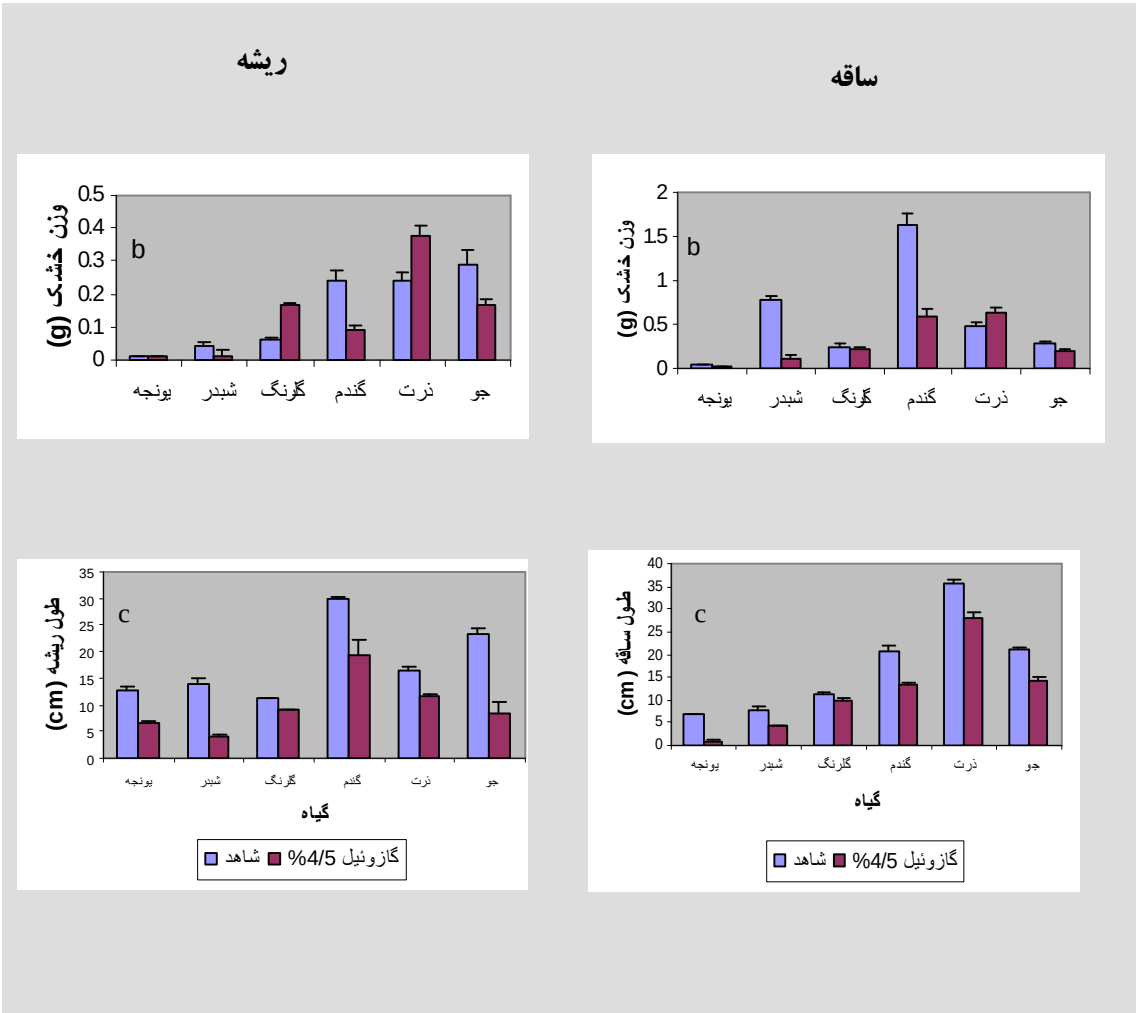
a- گلرنگ



b- ذرت

شکل2- تاثیر گازوئیل بر جوانه زنی دو گیاه (a) گلرنگ ، (b) ذرت در طی 4 هفته (میانگین ± SE).

بررسی دو گیاه ذرت و گلرنگ در غلظت‌های بالاتر 9 و 13/5 درصد نشان می‌دهد، با وجود مشاهده یک مرحله تأخیر در جوانه زنی گلرنگ، این گیاه کاهش معنی‌داری در جوانه زنی بر خلاف ذرت نشان نداده است (شکل 2)، با این حال در غلظت 22/5 درصد، در هیچ یک از دو گونه جوانه زنی مشاهده نشد. بررسی رشد طولی، وزن تر و خشک پس از 4هفته در غلظت 4/5 درصد یک کاهش معنی‌دار را در هر دو بخش هوایی و ریشه در گونه‌های شبدر سفید و جو نشان داد، در ادامه این بررسی دو گیاه یونجه و گندم کاهش معنی‌داری را در رشد طولی، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی و طول و وزن تر ریشه نشان دادند، در مقابل تغییرات معنی‌داری در وزن خشک ریشه این دو گیاه مشاهده نشد (شکل3 و4). کاهش رشد گیاهان نامبرده حاکی از حساس بودن به گازوئیل در این غلظت است.



شکل3- تاثیر گازوئیل 4/5٪ بر رشد ساقه (میانگین± SE)

شکل4- تاثیر گازوئیل 4/5٪ بر رشد ریشه (میانگین± SE)

در گیاه ذرت کاهش معنی‌دار زیست توده تر اندام هوایی و ریشه در مقایسه با شاهد مشاهده شد در حالی‌که بین تیمارها این اختلاف معنی‌دار نبود (شکل 5- b_1)، بنابراین می‌توان گفت که حضور گازوئیل در خاک سبب کاهش وزن تر گیاه می‌گردد ولی افزایش غلظت تأثیر عمده‌ای بر وزن گیاه ندارد و گیاه مذکور نسبت به غلظت‌های بالای گازوئیل مقاومت نسبی نشان می‌دهد.

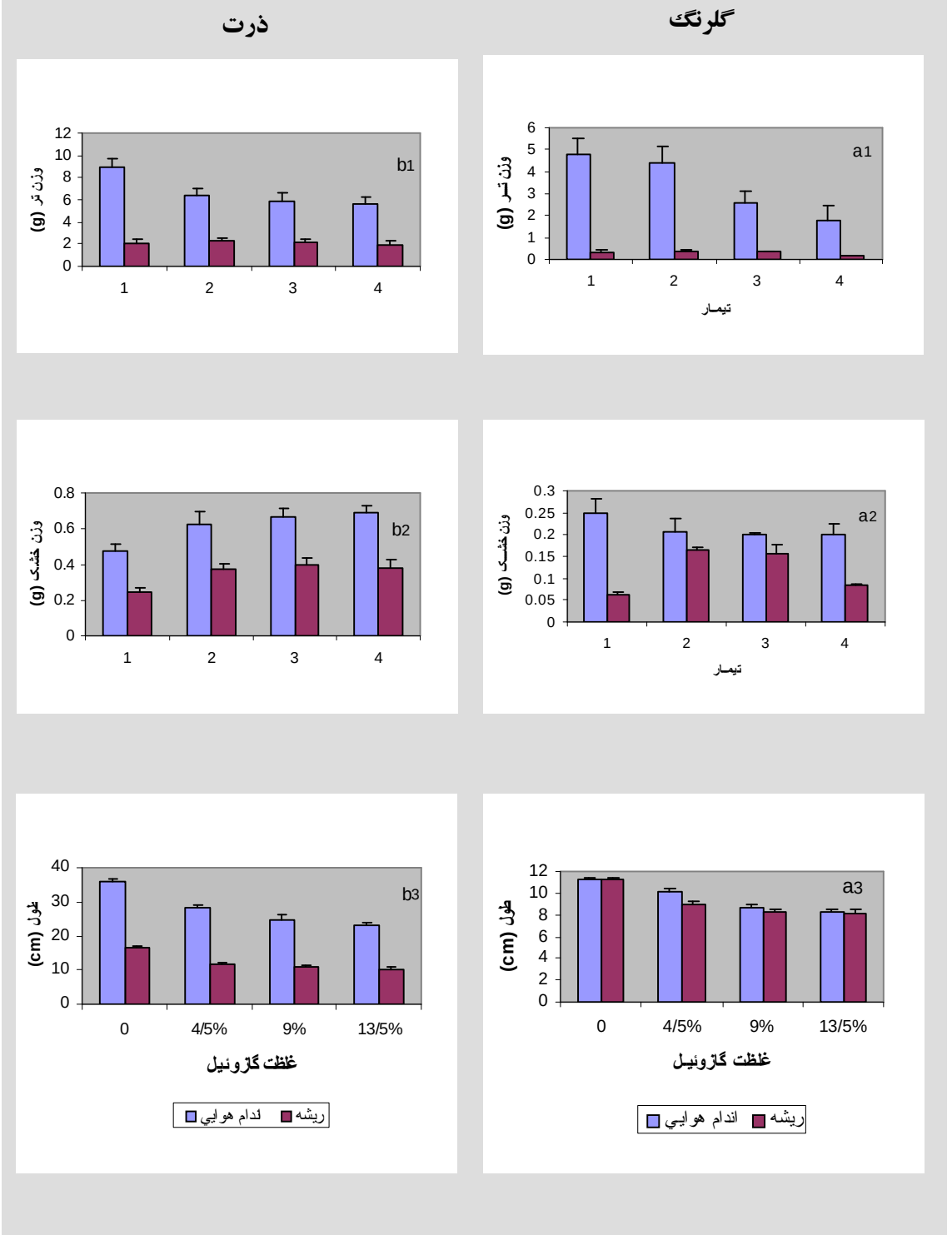
بررسی وزن خشک اندام هوایی و ریشه افزایش معنی‌داری را در مقایسه با شاهد نشان داد ولی بین تیمارهای گازوئیل در هر دو بخش هوایی و ریشه این اختلاف معنی‌دار نبود (شکل 5- b_2). در این فاکتور حضور گازوئیل در خاک بر روی وزن خشک گیاه اثر افزاینده داشته است ولی این تأثیر با افزایش میزان آلودگی معنی‌دار نبوده است. بررسی رشد طولی در اندام هوایی و ریشه ذرت کاهش معنی‌داری را در مقایسه با شاهد نشان داد، که در بخش هوایی بین تیمارهای گازوئیل اختلاف معنی‌دار مشاهده شد در حالی‌که در ریشه بین تیمارهای گازوئیلی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل 5- b_3)، این امر نشان دهنده آن است که آلودگی دارای اثرات بیشتری بر بخش‌های هوایی گیاه نسبت به ریشه می‌باشد.

گیاه گلرنگ از نظر بیوماس تر ریشه کاهش معنی‌داری را فقط در غلظت 13/5 درصد، و بخش هوایی در دو غلظت 9 و 13/5 درصد نشان داد (شکل 5- a_1)، نتایج فوق نشان دهنده حساس تر بودن بخش هوایی نسبت به ریشه به آلودگی‌های گازوئیلی می‌باشد. در آنالیز وزن خشک ساقه، بین تیمارها و شاهد، تفاوت معنی‌دار نبود و در مورد وزن خشک ریشه شاهد با تیمار13/5 درصد تفاوت معنی داری از خود نشان نداد ولی افزایش معنی داری در تیمارهای 4/5و 9 درصد مشاهده گردید (شکل 5- a_2). این مسئله حاکی از آن است که ریشه گیاه به غلظت بالای گازوئیل حساس است و این حساس بودن را با کاهش وزن نسبت به تیمارهای قبلی نشان می‌دهد. بررسی میانگین طول اندام هوایی و ریشه گلرنگ در تیمارهای گازوئیل کاهش معنی‌داری را در مقایسه با شاهد نشان داد، از نظر طول ساقه تیمارهای 9 و 13/5 درصد باز هم کاهش معنی داری را نسبت به تیمار 4/5 درصد از خود نشان دادند ولی بین تیمار 9 و 13/5 درصد تفاوت معنی داری وجود نداشت (شکل 5- a_3). در مورد طول ریشه گلرنگ در میان سه تیمار گازوئیل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. این مسئله بیان کننده آن است که با وجودیکه حضور گازوئیل در خاک سبب کاهش طول گیاه در هر دو بخش هوایی و ریشه می‌گردد، ولی غلظت‌های بالاتر گازوئیل علی‌رغم کاهش ارتفاع ساقه، بر رشد طولی ریشه تأثیر عمده‌ای نداشته است.

در بررسی میزان تجزیه گازوئیل در خاک‌های تحت کشت گلرنگ و ذرت و خاک فاقد پوشش گیاهی در مقایسه با غلظت اولیه گازوئیل کاهش معنی‌داری مشاهده شد. همچنین میزان باقی‌مانده گازوئیل در خاک‌های دارای پوشش گیاهی در مقایسه با خاک فاقد گیاه نیز کاهش معنی داری را نشان داد (جدول 1).

جدول1- درصد گازوئیل باقیمانده در خاک ± گیاه پس از 30 روز.

نمونه	$45 g.kg^{-1}$	$90 g.kg^{-1}$	$135 g.kg^{-1}$
شاهد (بدون گیاه)	٪93/77	٪93/37	٪95/55
گلرنگ	٪39/1	٪60/15	٪64/11
ذرت	٪41/3	٪56/14	٪59/17



شکل5- تاثیر گازوئیل بر رشد اندام هوایی و ریشه (a) گلرنگ، (b) ذرت پس از 30 روز (میانگین ± SE)

بحث

نتایج حاصل از بررسی گیاهان نشان می‌دهد که جوانه زنی دانه‌ها در خاک‌های آلوده به میزان زیادی وابسته به گونه‌های گیاهی است. قابلیت مقاومت در مقابل آلودگی‌های هیدروکربنی، خاص گونه است و حساسیت به این نوع آلودگی در بین اعضای نزدیک به هم در یک خانواده متفاوت است (Adam & Duncan, 2002).

به‌طور کلی در تمام گونه‌های مورد بررسی در این مطالعه، جوانه زایی دانه‌های تیمار شده با گازوئیل دارای یک فاز تأخیر بود، به‌طوریکه در هفته اول در صد جوانه زایی در مقایسه با شاهد پایین بود ولی پس از هفته دوم میزان جوانه زایی افزایش یافت.

Amakiri و همکاران (1984) نیز در بررسی جوانه زایی دانه‌های ذرت و فلفل قرمز در آلودگی نفت خام این تأخیر را مشاهده کردند، دلیل این تأخیر و بازدارندگی موقت را ناشی از موانع فیزیکی القا شده توسط ترکیبات هیدرکربنی موجود در خاک عنوان کردند، به‌طوریکه هیدروکربن یک غشای روغنی را در اطراف دانه تشکیل می‌دهد و همچون سدی از انتقال آب و اکسیژن به دانه جلوگیری می‌کند و یا آن را کاهش می‌دهد. با وجود تأخیر مشاهده شده در فاز ابتدایی رشد، در شبدر، گلرنگ، ذرت و جو کاهش معنی‌داری بین جوانه زنی نمونه‌های شاهد و تیمار 4/5 درصد مشاهده نشد در حالی‌که در گونه‌های یونجه و گندم این کاهش معنی‌دار بود، به طوری‌که می توان گفت که گازوئیل سبب کاهش جوانه زنی در این گونه‌ها در غلظت 4/5 درصد شده است. در بررسی میزان جوانه زنی دانه‌های ذرت و گلرنگ تحت تأثیر غلظت‌های بالاتر مشاهده شد که غلظت‌های زیاد گازوئیل سبب کاهش معنی‌داری در میزان جوانه زنی ذرت می‌شود با این وجود کاهش مشاهده شده در جوانه زنی گلرنگ معنی دار نبوده است. Dibble و Bartha (1979) عنوان کردند که کاهش میزان جوانه زنی در گیاه چچم در خاک آلوده به نفت سفید به دلیل کاهش دسترسی به اکسیژن می‌باشد که در نهایت رقابت زیادی برای دسترسی به اکسیژن به هنگام جوانه زدن رخ می‌دهد. Adam و Duncan (2002) عدم جوانه زنی دانه‌های کتان در محیط آلوده به سوخت‌های دیزلی را ناشی از نفوذ هیدروکربن به درون دانه‌ها دانستند که سبب از بین رفتن رویان شده است، همچنین علت زنده ماندن دانه‌های شبدر سفید و ریگراس پس از 24 هفته تماس با هیدروکربن را ناشی از خواص ویژه پوسته دانه دانستند که همچون سدی مانع از آسیب هیدروکربن به رویان می‌شود. بررسی گیاهان مورد مطالعه در این تحقیق کاهش معنی‌داری را در رشد طولی اندام‌های هوایی وریشه نشان داد. مطالعات نشان داده که برخی گیاهان هیدروکربن‌های نفتی را از طریق ریشه‌ها گرفته و ممکن است آنها را در مقادیر اندکی در ریشه یا ساقه انباشته سازند. Durmishidze (1977) گزارش کرد که جوانه‌های برنج، متان (نشاندار) را توسط ریشه و جوانه‌های ذرت و لوبیا متان، اتان، پروپان، بوتان و پنتان نشاندار را از طریق ریشه‌ها و برگ‌هایشان جذب کرده اند. Durmishidze (1977) همچنین گزارش کرد که بنزن، تولوئن و زایلن بوسیله آب آبیاری جذب و وارد فرآیندهای متابولیکی گیاه می‌شوند. در مقابل، نتایج مطالعات دیگر نشان می‌دهد که همه گیاهان هیدروکربن‌های نفتی را از خاک آلوده دریافت نمی‌کنند. Gudin و Syratt (1975) شواهدی مبنی بر جذب و دریافت آنتراسن و بنزو[α] پیرن توسط سویا، چچم (*Lolium multiflorum* Lam.) و کلم (*Brassica oleracea* var.capitata) از خاک آلوده به لجن‌های شهری که به آنها آلاینده‌های نشان دار اضافه شده بود نیافتند. بررسی از طریق گازکروموتوگرافی جذب هیدروکربن‌های اشباع در ساقه و برگ ذرت و گندم که به مدت 110 روز درخاک آلوده به غلظت 1/2 درصد رشد کرده بودند را نشان نداد (Chaineau *et al.*, 1997). با این حال کاهش رشد در بخش‌های هوایی این

گیاهان ممکن است ناشی از ترکیبات فراری باشد که 5 تا 10 درصد از کل ترکیبات هیدروکربنی را تشکیل می‌دهند (Bossert and Bartha, 1984).

Wyszkowski و همکاران (2005) در بررسی تأثیرات سوخت‌های دیزلی در دو گیاه *Zea mays* L. و *Avena sativa* L. عنوان کردند که در شرایط آلوده، جذب عناصر ماکرو توسط گیاهان تغییر می‌کند و میزان آنها در اندام‌های گیاهی دچار نوسان می‌شود، که این عامل به اضافه اثرات مستقیم مشتقات نفتی سبب تغییر در بیوماس ریشه و اندام هوایی می‌شود و گاهی باعث تخریب کامل گیاه در فازهای ابتدایی رشد می‌شود. به‌طوری‌که غلظت $24g.kg^{-1}$ سوخت‌های دیزلی در خاک میزان جذب نیتروژن و سدیم را در جودوسر به میزان 64 و 82 درصد کاهش داد، در حالی‌که میزان تجمع سدیم را 3 برابر و پتاسیم و کلسیم را به مقدار2 برابر افزایش داد.

همچنین تحت تأثیر هیدروکربن میزان پروتئین کل و کربوهیدرات در مقایسه با شاهد در گیاه باقلا افزایش یافت، Mallalah و Afzal (1996) معتقداند که افزایش این مواد در آلودگی هیدروکربنی ناشی از اثرات تنشی آلاینده آلی بر گیاه است بر این اساس عامل تنش زا در گیاهان تحت تاثیر تنش موجب تغییراتی در غشای آمیلوپلاست‌ها و نشت الکترولیت‌ها گردیده و باعث افزایش کربوهیدرات‌های محلول می‌شود، وی همچنین افزایش میزان پروتئین در گیاهان تحت تنش را به وجود دی اکسید گوگرد در آلاینده هیدروکربنی نسبت می‌دهد که به منظور سم زدایی اکسید نیتروژن در برگ گیاهان ساخته می‌شوند.

نتایج حاصل از این مطالعه نیز تأیید کننده گزارش‌های قبلی است به طوری‌که افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه در ذرت، ریشه در گلرنگ و یونجه مشاهده شد. بیش از 75 سال پیش نیز Carr و همکاران (1919) مشاهده کردند محصول سویا در خاک‌هایی (مخلوطی از ماسه، شن و پیت) با آلودگی $7500mg.kg^{-1}$ نفت به میزان 50 درصد افزایش می یابد. Baker(1970) نیز در مطالعاتی افزایش محصول خشک مناطق باتلاقی شور که در خاک‌های آلوده به نفت خام قرار داشتند را عنوان نمود، به‌طوری‌که در خاک‌های آلوده به مقادیر $8200\ mg.kg^{-1}$ تا 8600 نفت سبک و سنگین، وزن خشک گیاه ذرت نسبت به شاهد بدون نفت 40 تا 70 درصد بیشتر بود. در این مطالعات میزان وزن خشک دانه رست‌های گندم و جودوسر به طور معنی‌داری (20 تا 70 درصد) در خاک‌های آلوده به غلظت‌های 8200 و 8600 نفت سبک و سنگین کاهش یافت. در مطالعه حاضر نیز بررسی وزن خشک اندام هوایی ذرت نشان داد که گازوئیل سبب افزایش معنی دار وزن خشک در بخش‌های هوایی و ریشه در مقایسه با شاهد شده است. کاهش وزن خشک نیز که در سایر گونه‌ها در هر دو بخش هوایی و ریشه نتیجه گیری شد احتمالا به این دلیل می‌باشد که این گیاهان به آلودگی حساس هستند و ناشی از کاهش فتوسنتز و ماده سازی در این گیاهان می‌باشد. به‌طور کلی بیان شده نیازهایی که گیاه باید از خاک تأمین نماید شامل آب، عناصر غذایی، اکسیژن برای تنفس ریشه و فراهم نمودن زیستگاه مناسب برای رشد ریشه‌ها می باشد و هر گونه اختلال در موارد فوق می‌تواند سبب کاهش یا توقف رشد گیاه شود که اثرات آن در بخش‌های هوایی دیده می‌شود (Wright *et al.*, 1997). رطوبت پذیری خاک تیمار شده با هیدروکربن به علت داشتن خواص آبگریزی کاهش می‌یابد که منجر به اختلال در نمو ریشه‌ها (Udo & Fayemi, 1975) و کاهش آب و مواد غذایی می گردد (Chaineau *et al.*, 1997). بنابراین کاهش رشد گیاهان ممکن است به علت تنش ناشی از کمبود آب باشد که سبب القای نشانه‌های بازدارندگی ABA در ریشه می‌گردد (Reilly *et al.*, 1996). ضمن اینکه اثرات بازدارنده غلظت‌های زیاد هیدروکربن‌های سبک (اکتان-

دکان)، ترکیبات آروماتیکی (BTEX)، سیکلوهگزان و ترکیبات فنلی بر میزان تنفس، تعرق و فتوسنتز در گرامینه‌هایی نظیر خردل و جودوسر و همچنین گیاهان زراعی نظیر هویج و مرکبات مشاهده شده است (Baker, 1970). در مبحث وزن تر کاهش در هر دو بخش هوایی و ریشه گیاهان مورد مطالعه مشاهده شد در مورد وزن تر ریشه گلرنگ (به استثنای تیمار 13/5 درصد) و ذرت این کاهش وجود نداشت . این کاهش را میتوان ناشی از تشکیل غشای روغنی هیدروکربنی در اطراف ریشه دانست که مانع از رسیدن آب به ریشه‌ها می‌شود با این حال در مورد عدم کاهش بیوماس تر ریشه در دو گیاه ذرت و گلرنگ می‌توان احتمال داد که جذب آب و مواد معدنی و همچنین ماده سازی موفق‌تر بوده است. همچنین بررسی میزان تجزیه گازوئیل نشان داد که در مقایسه با خاک‌های فاقد پوشش گیاهی، دو گیاه ذرت و گلرنگ پس از طی یک دوره 30 روزه بطور تقریبی 10± 50 درصد از آلودگی را در خاک کاهش داده‌اند. تحقیقات انجام گرفته توسط برخی از محققان موید نتایج حاصل از این مطالعه می‌باشد که در ادامه به آن اشاره می شود. Gunther و همکاران (1996) دریافتند که ریگراس در مقایسه با خاک بدون گیاه مقدار بیشتری از هیدروکربن‌های مخلوط (n- الکان ها، هگزادکان، فنانترن، آنتراسن، فلورانتن، پیرن و peristane) را در خاک کاهش می‌دهند. به‌طوری‌که پس از یک دوره 22 هفته‌ای، غلظت هیدروکربن قابل استخراج از $4330\ mg.kg^{-1}$ به کمتر از $120\ mg.kg^{-1}$ در خاک‌های گیاه دار کاهش یافت (97 درصد) درحالی‌که در خاک‌های بدون گیاه فقط $790mg.kg^{-1}$ (درصد82) کاهش صورت گرفت. Reilley و همکاران (1996) نیز در مطالعه‌ای که بر روی یونجه و 3 گونه از گرامینه‌ها شامل فستوکای بلند، علف سودانی و علف سوئیچ انجام دادند مشاهده نمودند که این گیاهان به طور معنی‌داری غلظت PAHs را نسبت به خاک‌های بدون گیاه به میزان 30- 40 درصد کاهش می‌دهند. Durmishidze (1977) در مطالعه‌ای بر روی تجزیه هیدروکربن‌ها در گیاهان عنوان نمود که دانه رست‌های ذرت، چای و نیز ساقه‌های صنوبر متان را به اسیدهای متنوعی متابولیزه می‌نمایند. جذب متان، اتان، پروپان، بوتان و پنتان نشانگذاری شده در دانه رست‌های ذرت، باقلا و همچنین چای، گردو، به و انگور ثبت شده است. وی همچنین بیان نمود که بنزن، تولوئن و زایلن توسط گرامینه‌های خوراکی فقط در 2 تا 3 روز در بوته سبز ذرت در 4 تا 5 روز و در ریشه‌های گیاهان زراعی در 5 تا 6 روز متابولیزه می‌شوند. همچنین بنزوپیرن در طی 14 روز توسط گیاهان ذرت، باقلا، یونجه، ریگراس، نخود، خیار، اسفناج، ارکارد گراس متابولیزه می‌گردد که همراه با تجزیه در حدود 2 تا 18 درصد بنزوپیرن نیز توسط گیاه جذب می‌شود.

به طور کلی و با استناد به نتایج حاصل از مقایسه دو گیاه ذرت و گلرنگ می‌توان بیان کرد که میزان جوانه زنی در غلظت 13/5 درصد در گیاه ذرت (25 درصد) در مقایسه با گلرنگ (12 درصد) کاهش بیشتری را نشان داده است. مقایسه رشد طولی دو گیاه، کاهش بیشتری را در گیاه ذرت نشان داد، به طوری که تحت تأثیر غلظت 13/5درصد کاهش بخش‌های هوایی و ریشه ذرت 37 درصد و در گلرنگ در حدود 27 درصد بود. نتایج حاصل از اندازه گیری وزن تر نیز نشان داد که گیاه گلرنگ از نظر جذب آب در مقایسه با ذرت بیشتر تحت تأثیر آلودگی قرار گرفته به گونه‌ای که تغییرات وزن تر این گیاه در یک دامنه وسیع‌تری صورت گرفته است. در غلظت 13/5درصد، کاهش وزن تر اندام هوایی و ریشه در گلرنگ به ترتیب 63 و 45 درصد و در ذرت 38 و 8 درصد بود. بررسی وزن خشک حاکی از ماده سازی بیشتر گیاه ذرت در مقایسه با گلرنگ می‌باشد. به‌طوری‌که در هر دو بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت به ترتیب در حدود 30 و 38 درصد و در بخش ریشه گلرنگ حدود 40 درصد افزایش وزن مشاهده شد، این

در حالی است که تغییر وزن خشک در اندام هوایی گیاه گلرنگ به‌صورت معنی‌داری وجود نداشت.

با توجه به اینکه ریزوسفر گیاهان یک محیط بهینه و مناسب را برای تکثیر میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌آورند و مطالعاتی که در زمینه باکتری‌های تجزیه کننده نفت صورت گرفته است به نظر می‌رسد که استفاده تلفیقی از ریزوسفر و میکروارگانیسم در جهت افزایش تجزیه هیدروکربن‌ها نتایج مثبت و قابل ملاحظه‌ای را به‌همراه داشته باشد. بنابراین استفاده از این روش تلفیقی برای مطالعات و بررسی‌های بیشتر در زمینه رفع آلودگی‌های هیدروکربنی پیشنهاد می‌شود.

منابع

Adam, G. and H. Duncan (2002). Influence of diesel fuel on seed germination. *Environ. Pollut.*, 120: 363-70.

Adam, G. and H. Duncan (2003). The Effect of Diesel Fuel on Common Vetch (*Vicia Sativa* L.) Plants. *Environmental Geochemistry and Health*, 25: 123–130.

Amakiri, J.O. and Onofeghara (1984). Effects of crude oil pollution on the germination of Zea mays and Capsicum frutescens. *Environ. Pollut.*, 35: 159-167.

Baker, J. M. (1970). The effects of oils on plants. *Environ. Pollut.*, 1: 27-44.

Bossert, I. and R. Bartha (1984). *Petroleum Microbiology*. New York: Mac millan, P.435-437.

Carr, R. H. (1919). Vegetative growth in soils containing crude petroleum. *Soil Sci.* 8 : 67-68.

Chaineau, C.H., J.L. Morel and J. Oudot (1997). Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons. *Journal of Environmental Quality*., 26:1478-1483.

Cunningham, S.D., T.A. Anderson and A.P. Schwab (1996). Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Advances in Agronomy*, 56: 55–113.

Dibble, J.T. and R. Bartha (1979). Rehabilation of oil-inundated agricultural land: a case history. *Soil Science.*, 128:56-60.

Durmishidze, S.V. (1977). Metabolism of certain air-polluting organic compounds in plants (review). *Appl. Biochem. Microbiol.*, 13: 646-653.

Gunther, T., U. Dornberger and W. Fritsche (1996). Effects of ryegrass on biodegradation of hydrocarbons in soil. *Chemosphere.*, 33: 203-215.

Gudin, C. and W. J. Syratt (1975). Biological aspects of land rehabilitation following hydrocarbon contamination. *Environmental Pollution.*, 8: 107-112.

Mallalah, G. and M. Afzal (1996).*Vicia faba* as a bioindicator of oil pollution. *Environmental pollution.*, 92 : 213-127.

Reilley, K. A., M. K. Banks and A. P. Schwab (1996). Organic chemicals in the environment: dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the rhizosphere. *Journal of Environmental Quality.*, 25: 212-219.

Udo, E.G. and A.A.A. Fayemi (1975). The effects of oil pollution of soil on germination, growth and nutrient uptake of corn. *J. Environ. Qual.*, 4: 537-540.

Wright, A. L., R. W. Weaver and J. W. Webb (1997). Oil bioremediation in salt marsh mesocosms as influenced by N and P fertilization, flooding, and season. *Water, Air and Soil Pollution.*, 95: 179-191.

Wyszkowska, J. (2005). Effect of enzymatic activity of diesel oil contaminated soil on the chemical composition of oat (*Avena sativa* L.) and Maize (*zea mays* L.). *Plant Soil Environ.*, 51: 360-367.