

یادداشت تحقیقاتی

ارزیابی و مدلسازی قطع کردن علف هرز خار شتر (*Alhagi maurorum*) با جت آب

مریم نقی پورزاده ماهانی^{۱*} - کاظم جعفری نعیمی^۲ - محسن شمسی^۳ - قاسم محمدی نژاد^۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۴

تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۹

چکیده

با توجه به اهمیت کنترل علف هرز خار شتر و عدم کارایی روش‌های مکانیکی متداول در کنترل این گیاه به دلیل رشد در مکان‌های غیر قابل دسترس، در این مطالعه استفاده از جت آب به منظور برش و پاکسازی مکان‌هایی که این گیاه به وفور وجود دارد، مورد ارزیابی قرار گرفت که روشی هیدرودینامیک می‌باشد. آزمایشات برش علف هرز خار شتر در دانشگاه شهید باهنر کرمان، با جت آبی در فشار ۹۰ بار که با یک پمپ فشار قوی مخصوص ایجاد می‌شد انجام گرفت. زمان برش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. تیمارهای مستقل، شامل قطر ساقه در دو سطح بزرگ‌تر و کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر، فاصله پاشش در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر و نگهدارنده گیاه در دو نوع تیغه و صفحه بود. نتایج نشان داد، اثر قطر و فاصله بر زمان برش، در سطح ۱٪ معنی دار است. بررسی اثر متقابل پارامترها نشان داد، افزایش قطر ساقه باعث افزایش زمان برش و افزایش فاصله پاشش، کاهش زمان برش را به دنبال دارد که به صورت یک رابطه خطی با ضریب تبیین ۹۶ و ۹۹ درصد به ترتیب برای ساقه‌هایی با قطر کوچک‌تر و بزرگ‌تر به دست آمد. همچنین برش در فاصله ۳۰ سانتی‌متری، روی قطرهای کوچک‌تر در کوتاهترین زمان اتفاق افتاد و مدل رگرسیون خطی چند متغیره معنی داری برای برش گیاه خار شتر پیشنهاد گردید. با توجه به انعطاف پذیری جت آب برای کار در مکان‌های مختلف و با در نظر گرفتن پارامترهای اثرگذار، کنترل هیدرودینامیک علف‌های هرز به عنوان یک روش مکمل و بعضاً جایگزین پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: برش، مدل رگرسیونی، هیدرودینامیک

مقدمه

۹۰ درصد گزارش شید (Hansson, 2002)، در مطالعه‌ای از حرارت پرتو لیزر به منظور تبخیر آب بافت علف هرز و برش آن استفاده شد (Heisel, 2001). همچنین استفاده از تشعشع مغناطیسی برای از بین بردن علف هرز مورد بررسی قرار گرفت. در این روش یک پرتو مغناطیسی (۲/۴ گیگا هرتز) به علف هرز تابانده می‌شود که در اثر آن، آب درون بافت علف هرز به دلیل اصطکاک بین ملکولی داغ شده و علف هرز را از بین می‌برد (Sartorato, 2006). در مطالعه ای دیگر، از نور فرابنفش برای کنترل علف هرز استفاده گردید. در این روش نور به گیاه تابانده می‌شود و باعث ایجاد حرارت در بافت گیاه و از بین بردن آن می‌شود (Andreasen et al., 2002).

همچنین استفاده از بخار آب در کنترل علف‌های هرز بررسی شده است که در این روش بخار با دمای ۱۷۵ درجه سلسیوس، از نازل‌هایی که به صورت عمودی بالای علف هرز قرار گرفته بود روی آن‌ها اسپری می‌شد و از یک سوپاپ برای بستن نازل، در هنگام عبور

با توجه به افزایش جمعیت جهان و نیاز بشر به مواد غذایی، افزایش راندمان تولید محصول مورد توجه همگان قرار دارد (FAO, 2007). علف هرز یکی از عواملی است که به طور مستقیم بر رشد و میزان محصولات کشاورزی تأثیر منفی می‌گذارد (Holm, 1977). در این راستا روش‌های گوناگونی برای کنترل و مبارزه با علف‌های هرز ارائه و مورد مطالعه قرار گرفته شده است به طوری که استفاده از آب داغ برای کنترل علف هرز آلبا مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان کنترل

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد،

پردیس بین الملل

۳ و ۲- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه باهنر کرمان

*- نویسنده مسئول: (Email: Naghipoor.maryam@yahoo.com)

$$v_j = 40.24 P^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، V_j سرعت جت بر حسب متر بر ثانیه و P فشار آب قبل از ورود به نازل، بر حسب مگاپاسکال می‌باشد. زمانی که جت آب به جسم جامدی برخورد می‌کند دو فشار مختلف در نقطه‌ی برخورد ایجاد می‌شود. در صورتی که توده‌ی آب و قطرات با جسم جامد برخورد کند؛ از فشار آب ضربه‌ی P_C ، در نقطه برخورد تولید نیرو می‌شود که از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$P_C = \rho C_0 v_j \quad (3)$$

در رابطه (۳)، ρ چگالی مایع، C_0 سرعت صوت در آب که در دمای نرمال و فشار اتمسفر حدوداً 1500 m s^{-1} می‌باشد. V_j سرعت برخورد جت (سرعت متلاشی شدن جت آب) با جسم می‌باشد (Blowers, 1969).

اگر جت آب پیوسته با جسم جامد برخورد کند، در نقطه برخورد فشار ایستا باعث تولید نیرو می‌شود که این فشار از رابطه (۴) قابل محاسبه می‌باشد (Shimizu, 2002).

$$P_s = \frac{\rho v^2}{2} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، P_s چگالی آب و v سرعت جت می‌باشد. اگر فشار ایجاد شده در نقطه برخورد از تنش تسلیم مواد بیشتر باشد حذف مواد در آن نقطه اتفاق می‌افتد. انرژی ناشی از برخورد مایع با جسم، تنش‌هایی در جسم تولید می‌کند که سریعاً به حد تنش بحرانی می‌رسند. در اجسام نرم زمانی که تنش به حد تنش تسلیم برسد، جسم تغییر شکل پلاستیک می‌دهد و با افزایش تنش گسیخته می‌شود. پیامد این فرآیند، کنده شدن قطعاتی از جسم است و با ادامه آن، عمل برش در ناحیه برخورد جت آب انجام می‌گیرد. در اجسام ترد و سخت، برش تحت مکانیزم میکرو ترک انجام می‌گیرد. ترک‌ها و شکاف‌های موجود در جسم و همچنین ترک‌ها و شکاف‌هایی که تحت تأثیر ضربه ایجاد شده‌اند، در جسم گسترش یافته و باعث جدا شدن ذرات از جسم و در نهایت باعث برش جسم خواهد شد (Khosrotash, 1989).

استفاده از این تکنولوژی در کشاورزی و صنایع غذایی رو به توسعه می‌باشد به طوری که تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است. مطالعات نشان داده است استفاده از جت آب برای برش گوشت و سبزیجات روشی موفقیت آمیز و کاربردی است. همچنین ماندگاری میوه‌ها و سبزیجاتی که با این روش برش می‌خورند نسبت به سایر روش‌ها بیشتر است (McGlynn and Bellmer, 2003). در عملیات فرآوری میوه‌های گرمسیری، به منظور تولید با کیفیت، بهداشتی و ارائه‌ی روشی که کمترین تماس مستقیم اشخاص با تولیدات را داشته باشد، روشی مرکب از رباتیک، جت آب و پردازش تصویر برای پوست گیری و برش، ارائه شد (Carreno, 2010). در مطالعه‌ی استفاده از جت آب برای برش انتهای ساقه هویج پیشنهاد

از روی گیاه اصلی استفاده می‌شد (Kolberg and Lori, 2002). همچنین کنترل علف‌های هرز به روش انجمادی مورد مطالعه قرار گرفت که در این روش از نیتروژن و دی اکسید کربن مایع، برای انجماد بافت گیاه و از بین بردن آن استفاده شد (Fergedal, 1994). روش‌های شیمیایی کنترل اگر چه مزیت‌های دارد اما باقی ماندن سموم در خاک باعث از بین رفتن تعادل اکوسیستم‌ها می‌شود (Arabhosseini, 2008). از طرفی استفاده از این روش برای پاکسازی علف‌های هرز در فضای سبز شهری از نظر زیست محیطی امکان پذیر نمی‌باشد.

بررسی‌های انجام شده نشان داده است که کنترل مکانیکی علف هرز، در مقایسه با سایر روش‌ها مناسب تر بوده است و حتی عملکرد آن تا ۹۵ درصد نیز می‌رسد (Arabhosseini, 2008). یکی از روش‌های کنترل مکانیکی، قطع کردن و برش علف هرز می‌باشد که معمولاً به وسیله‌ی دروگرهای شانهای و چکشی انجام می‌شود. استفاده از این دروگرها در عمل، با محدودیت‌هایی مانند عدم کارایی در فضاهای محدود مانند پارک‌ها، فضای سبز شهری و باغچه‌ها همراه می‌باشد. از طرفی پراکنندگی علف‌های هرز و قابلیت رشد زیاد آن‌ها در مکان‌هایی مانند کانال‌های آبیاری، شیب‌ها و اطراف جاده‌ها، کنترل مکانیزه آن‌ها را با مشکل روبه‌رو کرده است، به طوری که اغلب، عملیات کنترل علف‌های هرز این مکان‌ها، دستی و توسط کارگر انجام می‌شود که عملیاتی زمان بر، خسته کننده و پر هزینه می‌باشد. با توجه به محدودیت‌های موجود، استفاده از سیستمی انعطاف پذیر برای کنترل علف‌های هرز الزامی می‌باشد. یکی از روش‌های نوین برش، برش هیدرودینامیک است که در آن برش با برخورد باریکه‌ی پرسرعت آب، به جسم ایجاد می‌شود (Khosrotash, 1989). مادامی که مایع از نازل خارج نشده، تحت اثر فشار بسیار بالایی قرار گرفته است و در هنگام خروج از نازل فشار مایع به سرعت خطی تبدیل می‌شود. در هنگام برخورد باریکه پرسرعت مایع به سطح اجسام، اندازه حرکت مایع به انرژی ضربه‌ای ناشی از برخورد تبدیل می‌گردد.

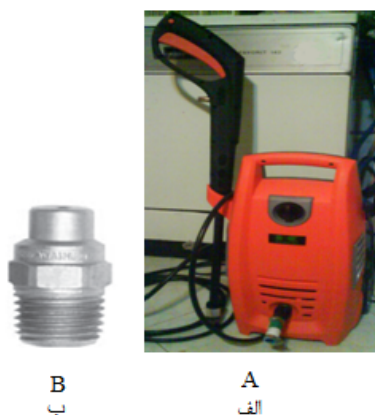
رابطه‌ای که می‌توان جت آب را با آن مورد بررسی و تحلیل قرار داد معادله مومنوم می‌باشد که طبق آن، اندازه حرکت جت مایعی که از نازل خارج شده است، بین نازل و نقطه‌ی برخورد جت، ثابت می‌ماند. تغییرات مومنوم در سیستم حجم کنترل، با نیرو برابر است. رابطه مومنوم در سیستم حجم کنترل به صورت رابطه (۱) می‌باشد.

$$M = \int v p V \cdot dA \quad (1)$$

در رابطه (۱)، v سرعت و dA المان سطح، ρ چگالی آب و V حجم آب می‌باشد که عمود بر جهت سرعت می‌باشد.

سرعت جت از رابطه (۲) که با نوشتن رابطه برنولی برای ورودی و خروجی نازل و در نظر گرفتن افت فشار در نازل به دست می‌آید؛ محاسبه می‌شود (Momber, 2003).

با فشار ۹۰ بار و خروجی ۶ لیتر بر دقیقه و نازلی با زاویه پاشش صفر درجه با قطر ۱/۶ میلی‌متر استفاده گردید (شکل ۱).



شکل ۱- الف- دستگاه شستشوی فشارقوی ب- نازل مورد استفاده در آزمایشات برش علف‌های هرز
Fig.1. A- Power pressure washer unit. B- The nozzle of water jet cutting tests

از آنجا که در برش مواد با جت آب عوامل متعددی اثر گذار است در این مطالعه اثر سه عامل مورد بررسی قرار گرفت.

نگهدارنده گیاه

در آزمایشات برش با جت آب، از آنجایی که گیاه در برخورد با جت آب به عقب رانده شده و برش صورت نمی‌گرفت؛ استفاده از دو نمونه نگهدارنده، شامل صفحه نگهدارنده و تیغه نگهدارنده پیشنهاد شد. صفحه نگهدارنده، صفحه‌ای است که به‌طور عمودی پشت گیاه قرار گرفته و از خم شدن آن در اثر برخورد با جت آب جلوگیری می‌کند. در آزمایش برش با تیغه نگهدارنده، از یک تیغه دروگر شانه‌ای استفاده شد که به‌صورت افقی پشت علف هرز قرار می‌گرفت تا برش انجام شود.

قطرساقه علف هرز

از آنجا که مکانیزم برش با جت آب بر اساس سایش و حذف مواد می‌باشد (Kong et al., 2010)، قطر ساقه علف هرز در زمان برش آن اثر گذار است. به‌منظور بررسی این اثر، قطر ساقه‌های علف خار شتر به‌وسیله‌ی کولبسی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و در دو گروه قطرهای بزرگ‌تر و کوچک‌تر از پنج میلی‌متر قرار گرفت. پس از اندازه‌گیری قطر ساقه با قرار دادن آن روی صفحه یا تیغه نگهدارنده (بر اساس نوع آزمایش) و تنظیم فاصله، برش روی آن انجام گرفت و زمان برش هر نمونه اندازه‌گیری و یادداشت شد.

فاصله پاشش جت آب

با توجه به اهمیت فاصله در میزان فشار جت در نقطه برخورد

شد (Posselius And Conklin, 1986). همچنین در راستای توسعه‌ی این فناوری، استفاده از این سیستم برای برداشت گیاه نیشکر بررسی شد و طرح دروگری به ثبت رسید که در آن از جت آب برای برش ساقه‌های نیشکر استفاده می‌شد (James, 2004). به‌منظور استفاده از جت آب برای برش ساقه و برگ‌های سیب زمینی، قبل از برداشت آن، تحقیقاتی انجام گرفت که طی آن توانایی یک سیستم برش جت آب سیار با فشار کاری ۲۲۵۰ بار، در برش بوته سیب زمینی مورد ارزیابی قرار گرفت (Fogelberg, 2004). همچنین تحقیقاتی در زمینه‌ی ارزیابی سیستم برش و اترجت برای برش تکه‌های سیب زمینی انجام شد که به مقایسه‌ی میزان تخریب بافت در سطح برش نسبت به برش با تیغه مکانیکی پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد تخریب بافت در برش با جت آب کمتر از سایر روش‌ها می‌باشد (Becker and Gray, 1992).

در مطالعاتی استفاده از فناوری برش با جت آب در ماشین آلات کشاورزی به‌عنوان یک روش جایگزین برای برداشت محصولات کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت (Ligocki, 2005).

گیاه خار شتر، علف هرز غالب مناطق جنوب شرق و کویری می‌باشد و با توجه به پایا بودن و عدم نابودی سریع آن و رشد پراکنده این گیاه در فضای سبز شهری و مکان‌های غیرقابل دسترس، استفاده از روشی که پاکسازی این مناطق راحت‌تر انجام شود؛ الزامی بود.

با توجه به مطالعات انجام شده و ویژگی‌های جت آب نظیر انعطاف‌پذیری و دقت در برش، استفاده از این فناوری در کنترل و پاکسازی مکان‌هایی که علف هرز خار شتر به‌وفور وجود دارد؛ پیشنهاد گردید. در مطالعاتی که روی برش با جت آب انجام شده است، اغلب آزمایشات در فشارهای بالا و با تجهیزات پیشرفته انجام شده است اما در این پژوهش امکان پیاده‌سازی و استفاده از این فناوری با فشاری در حد فشار پمپ سمپاش‌ها مورد بررسی قرار گرفت که این امر علاوه بر افزایش ایمنی در عملیات، زمینه استفاده از این فناوری با توان موجود در کشاورزی را فراهم می‌سازد. در این راستا عوامل مؤثر و چگونگی اثرگذاری آن‌ها روی فرآیند برش علف خار شتر بررسی شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی جت آب در قطع کردن علف‌های هرز و انجام آزمایشات، علف هرز خار شتر به‌دلیل فراوانی که در منطقه داشت به‌عنوان نمونه از جامعه علف‌های هرز انتخاب شد. پس از جمع‌آوری علف هرز خار شتر از سطح دانشگاه شهید باهنر کرمان و انتقال آن به آزمایشگاه گروه ماشین‌های کشاورزی، ساقه‌ی گیاه برای انجام برش به‌صورت نمونه‌هایی به طول ۱۰ سانتی‌متر آماده شد. به‌منظور بررسی دقیق پارامترهای اثرگذار، ایجاد شرایط آزمایشگاهی قابل کنترل و ایمن برش، از یک دستگاه شستشوی فشار قوی مدل KAW150-B

اندازه گیری شد و به منظور بررسی اثرات ثابت و متقابل عامل‌های مورد آزمایش، تحقیق با نرم افزار SAS ver.9.1 و SPSS ver.10 انجام و نمودارها در نرم افزار Excel 2007 رسم شد.



شکل ۲- آزمایش برش ساقه علف به وسیله جت آب

Fig.2. Water jet cutting test

نتایج و بحث

در انجام آزمایشات برش با جت آب روی ساقه‌های علف هرز خارشتر، اثر پارامترهای قطر ساقه، نوع نگهدارنده و فاصله نازل تا علف هرز (فاصله پاشش) بر زمان برش مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در جدول شماره ۱ بیان شده است.

(Kunaporn *et al.*, 2003)، تأثیر سه فاصله بر زمان برش علف هرز خارشتر مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین فواصل مناسب برای انجام آزمایشات، لازم بود طول هسته جت برای نازل مورد استفاده محاسبه شود. هسته‌ی جت ناحیه ای است که در آن، جت آب هنوز وارد مرحله شکل گیری قطرات آب نشده است و جریانی پیوسته دارد. فشار در این ناحیه، فشار ایستا می‌باشد و طول آن x_c ، به طور میانگین از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Takaffoli, 2010).

$$\frac{x_c}{d_n} = 100 \quad (5)$$

در رابطه (۵)، d_n قطر نازل بر حسب میلی متر می‌باشد. طبق رابطه (۵)، هسته جت برای نازلی با قطر $1/2$ ، $1/2$ سانتی متر به دست آمد که برای ارزیابی بهتر اثر فاصله در برش، فواصل 10 ، 20 و 30 سانتی متر برای آزمایش انتخاب شد. در شکل ۲ نحوه آزمایش برش گیاهان خارشتر نشان داده شده است.

این پژوهش، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار اجرا گردید به طوری که سه عامل مورد بررسی، قطر ساقه در دو سطح کوچکتر و بزرگتر از 5 میلی متر، نگهدارنده گیاه در دو سطح تیغه و صفحه نگهدارنده و فاصله پاشش جت آب در سه سطح 10 ، 20 و 30 سانتی متر می‌باشد و زمان برش و نیروی برشی

جدول ۱- تجزیه واریانس برش علف هرز خارشتر با جت آب

Table1-Analysis of variance of water jet cutting in Camel thorn

| F | میانگین مربعات Mean of squares | درجه آزادی Degree of freedom | منابع تغییر Source of variation |
|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--|
| 13.20** | 426.20 | 2 | فاصله پاشش Distance |
| 212.42** | 2030.59 | 1 | قطر Diameter |
| 6.44** | 61.58 | 2 | فاصله × قطر Distance × Diameter |
| 0.02 ^{ns} | 0.19 | 1 | نگهدارنده Maintenance |
| 6.66 ^{ns} | 25.40 | 2 | فاصله × نگهدارنده Maintenance × Distance |
| 2.30 ^{ns} | 22.02 | 1 | قطر × نگهدارنده Maintenance × Diameter |
| 2.85 ^{ns} | 27.26 | 2 | قطر × نگهدارنده × فاصله Maintenance × Diameter × Distance |
| | 9.55 | 44 | خطا Error |

** معنی داری در سطح ۱ درصد و ns عدم معنی داری را نشان می دهد.

**And ns show significant difference at probability of 1% and no significant difference, respectively.

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می دهد که اثر فاصله، قطر و اثر متقابل این دو بر زمان برش، در سطح یک درصد معنی دار است.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل قطر ساقه در فاصله پاشش

جت آب روی زمان برش براساس آزمون دانکن

Table 2- Mean comparison of diameter-distance in water jet cutting based on Duncan Multiple Rang Test

| زمان Time (s) | قطر Diameter (mm) | فاصله Distance (cm) |
|---------------------|----------------------------|---------------------------|
| 6.09 ^c | کوچکتر از ۵ Less than 5 | 10 |
| 21.36 ^a | بزرگتر از ۵ More than 5 | |
| 5.02 ^c | کوچکتر از ۵ Less than 5 | 20 |
| 16.40 ^{ab} | بزرگتر از ۵ More than 5 | |
| 4.61 ^c | کوچکتر از ۵ Less than 5 | 30 |
| 12.87 ^b | بزرگتر از ۵ More than 5 | |

میانگین‌های دارای حروف معنی داری مشترک، طبق آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار آماری در سطح احتمال ۱٪ می‌باشند. با توجه به جدول ۲ در فواصل مختلف، اختلاف معنی داری در زمان برش قطرهای کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر وجود ندارد در حالی که در قطرهای بزرگتر، در فواصل ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری، اختلاف معنی دار در زمان برش وجود دارد که این نشان می‌دهد در زمان برش ساقه‌های ضخیم‌تر، فاصله اثر بیشتری نسبت به ساقه‌های باریک‌تر دارد (جدول ۲). با بررسی‌های بیشتر مشخص شد زمان برش با افزایش فاصله به صورت خطی کاهش می‌یابد به طوری که این رابطه برای قطرهای بزرگ‌تر از ۵ میلی‌متر با ضریب تبیین ۰/۹۹ به صورت رابطه (۶) به دست آمد.

$$y = -0.42x + 25.36 \quad (6)$$

و برای قطرهای کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر رابطه‌ای با ضریب تبیین ۰/۹۶ به صورت رابطه (۷) به دست آمد.

$$y = -0.07x + 6.74 \quad (7)$$

در روابط (۶) و (۷)، y زمان برش بر حسب ثانیه و x فاصله پاشش جت آب بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. ضریب x در معادلات به دست آمده نشان می‌دهد، روند تغییرات زمان با افزایش فاصله منفی می‌باشد و روند کاهش زمان در ساقه‌های ضخیم‌تر بیشتر از ساقه‌های باریک‌تر است (شکل ۲). این امر نشان می‌دهد که در قطرهای بزرگ‌تر، فاصله اثرگذاری بیشتری در زمان برش نسبت به قطرهای کوچک‌تر دارد (شکل ۵). از آنجا که ساقه‌های باریک‌تر دارای تنش تسلیم کم‌تری می‌باشند در برخورد با جت آب سریعاً دچار گسیختگی

اثر متقابل قطر ساقه در فاصله پاشش روی زمان برش

در بررسی اثرات متقابل پارامترها، نتایج مقایسه میانگین نشان داد در فاصله یکسان، بین دو گروه قطر، اختلاف معنی داری در زمان برش وجود دارد. به طور کلی برش ساقه‌هایی با قطر کوچک‌تر به زمان کم‌تری نیاز دارد. از آنجا که ساقه‌هایی با قطر کوچک‌تر عموماً ساقه‌های جوان گیاه می‌باشند و نسبت به ساقه‌های بزرگ‌تر بافت تردتر و تنش تسلیم پایین‌تری دارند در اثر ضربه سریعاً شکسته و قطع خواهند شد از طرفی بین ساقه‌هایی با بافت خشبی که تنش تسلیم بالاتری دارند، ساقه‌هایی با قطر کمتر سریع‌تر بریده خواهند شد، زیرا فرآیند برش در این نوع ساقه‌ها به دلیل مقاومت در مقابل ضربه جت سایشی خواهد بود و چون در این گروه جرمی که باید تحت سایش قرار گیرد، کمتر است برش در زمان کوتاه‌تری انجام می‌شود. در این نوع برش در محل برخورد جت با جسم ترک‌های ریزی ایجاد می‌شود و با ادامه پاشش ترک‌ها با هم ادغام شده و جدا شدن ذرات از جسم را منجر می‌شود (Momber, 1996). نتایج مبین این است که در دو گروه قطر، با افزایش فاصله، برش در زمان کم‌تری انجام شده است به طوری که بیشترین زمان برش در فاصله ۱۰ سانتی‌متر و در قطرهای بیشتر از ۵ میلی‌متر و کمترین زمان برش مربوط به فاصله ۳۰ سانتی‌متر در قطرهای کمتر از ۵ میلی‌متر می‌باشد. نواحی مختلف در جت، منجر به ایجاد پروفیل‌های برش مختلف می‌شود و نوع جریانی (پیوسته یا متناوب) که به جسم برخورد می‌کند بر نیروی تولید شده در نقطه برخورد، تأثیر دارد. بنابراین ساختار جت تأثیر مستقیم و قابل ملاحظه‌ای در فرآیند حذف مواد و برش مواد دارد. ساختار جت آب به سه دسته جت پیوسته، جت مرکب و جت ضربه‌ای تقسیم می‌شود. جت پیوسته بار استاتیکی و جت ضربه‌ای بار دینامیکی ایجاد می‌کند (Sedaghat, 2008).

از آنجایی که فشار ضربه‌ای آب بسیار بزرگ‌تر از فشار ایستا می‌باشد، نیرویی که از برخورد جت آب متناوب تولید می‌شود، دارای قدرت تخریب بیشتری نسبت به نیروی برخورد در جت آب پیوسته می‌باشد. در فشار ثابت با افزایش فاصله، جت پیوسته وارد فاز ضربه‌ای می‌شود و نیروی دینامیکی، تعداد و شدت پالس‌های جت افزایش یافته و باعث سایش سریع‌تر در نقطه برخورد می‌شود (Shimizu, 2002). بنابراین جسمی که در فواصل بیشتر در معرض برخورد جت آب قرار می‌گیرد تحت فشار ضربه‌ای قرار گرفته و سریع‌تر بریده می‌شود (جدول ۲).

در مجموع مدل رگرسیونی زمان برش به صورت رابطه (۸) به دست آمد.

$$y = 0.49 - 2.52A + 3.23B \quad (8)$$

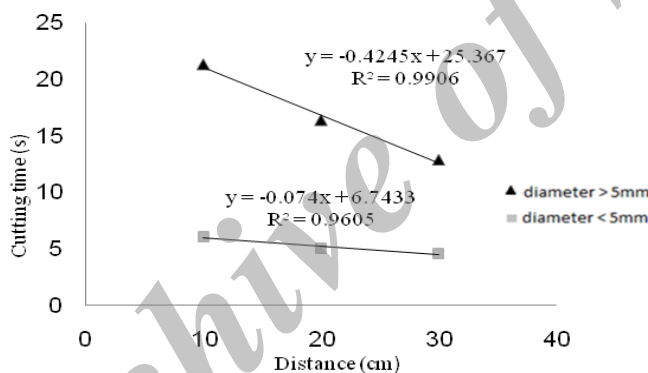
در رابطه (۸)، A فاصله برحسب سانتی‌متر، B قطر ساقه بر حسب میلی‌متر می‌باشد. با توجه به جدول مقایسه ضرایب رگرسیونی استاندارد قطر اثر بیشتری بر زمان برش دارد و در ارتباط مستقیم با آن می‌باشد در حالی که فاصله اثر کمتر و منفی روی زمان برش دارد و اثر این دو معنی دار می‌باشد.

همچنین عامل نگهدارنده گیاه که در دو نوع تیغه و صفحه مورد ارزیابی قرار گرفته بود؛ اثر معنی داری بر زمان برش نداشته است. صفحه‌ی نگهدارنده با قرار گرفتن در پشت گیاه آن را در مقابل ضربه جت نگه داشته تا برش انجام شود. انتخاب تیغه به‌عنوان نگهدارنده و عدم تأثیر این پارامتر بر زمان برش نشان داد قرار دادن جسمی برنده که اثری مانند ضد تیغه در دروگرها را در برش داشته باشد، در این روش اثر گذار نیست.

و برش می‌شوند. در ساقه‌های ضخیم‌تر با بافت خشبی، فرآیند سایش باید به‌طور کامل انجام گیرد که با قرار گرفتن در فواصل مختلف و با توجه به ساختار متفاوت جت، تحت شرایط سایشی متفاوتی قرار خواهند گرفت که این امر اختلاف معنی داری در زمان برش ایجاد کرده است (جدول ۲). مطالعات انجام شده در بررسی عوامل مؤثر در سایش سطوح با جت آب، نشان داد با افزایش فاصله پاشش، میزان سایش افزایش می‌یابد (Sedaghat, 2009).

مدلسازی رگرسیون تغییرات زمان برش بر حسب پارامترهای مورد مطالعه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیون نشان داد که مدل رگرسیون در سطح یک درصد معنی دار می‌باشد (جدول ۳). در مجموع قطر و فاصله و نگهدارنده ۹۰٪ از تغییرات زمان برش را درخصوص خارشتر توجیه می‌کند. نتایج تجزیه واریانس گام به گام نشان داد قطر به‌عنوان مهم‌ترین عامل اثر گذار بر زمان برش ۷۵٪ و فاصله ۱۵٪ تغییرات را توجیه می‌کند. جدول ۴ ضرایب رگرسیون را نشان داده است.



شکل ۳- روند زمان قطع شدن ساقه‌های علف هرز بر اساس فاصله پاشش در قطرهای مختلف
Fig.3. The trend of cutting time based on distances of different diameters

جدول ۳- تجزیه واریانس رگرسیون برای برش علف خارشتر با جت آب

Table 3- The variance analysis of regression for water jet cutting of Camel thorn

| F | میانگین مربعات Mean squares | درجه آزادی Degree of freedom | مجموع مربعات Sum of squares | مدل Model |
|---------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 16.47** | 137.34 | 3 | 412.02 | رگرسیون Regression |
| | 8.33 | 8 | 66.68 | خطای باقی مانده Remaining error |
| | | 11 | 487.71 | کل Total |

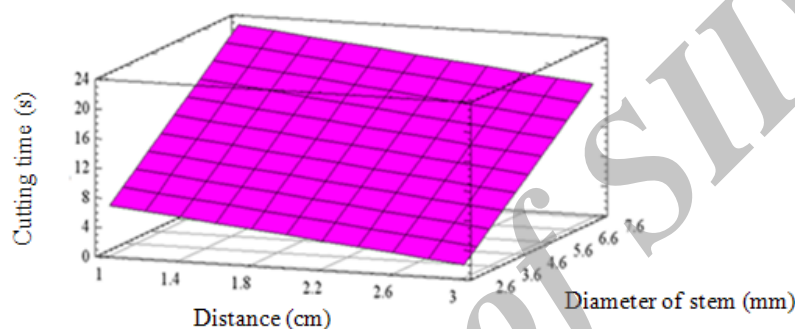
**معنی دار در سطح احتمال ۱٪

**Indicates statistical significance at $p \leq 0.01$

جدول ۴- ضرایب رگرسیونی برش به وسیله جت آب علف خار شتر

Table 4- The regression coefficients of water jet cutting of Camel thorn

| سطح احتمال P | ضرایب استاندارد Standardized Coefficients | ضریب غیر استاندارد Unstandardized Coefficients | مدل Model |
|--------------|--|---|--------------------------|
| 0.911 | | 0.49 | عرض از مبدأ Constant |
| 0.039 | -0.32 | -2.52 | فاصله Distance |
| 0.00 | 0.84 | 3.23 | قطر Diameter |
| 0.86 | 0.02 | 0.29 | نگهدارنده Maintenance |



شکل ۴- نمودار تغییرات زمان برش ساقه بر حسب تغییرات قطر ساقه گیاه و فاصله پاشش

Fig.4. Plot of cutting time variation based on changes in stem diameter and distance

فاصله پاشش جت آب ۱۵ درصد از تغییرات زمان برش را توجیه می‌کند به طوری که نسبت به زمان در یک رابطه معکوس و خطی قرار دارد و نوع نگهدارنده در زمان برش بی تأثیر می‌باشد. سریع‌ترین برش در فاصله پاشش ۳۰ سانتی‌متری و در ساقه‌هایی با قطر کمتر از ۵ میلی‌متر انجام شد. تحلیل فرآیند برش نشان داد فاصله پاشش در زمان برش ساقه‌های نازک، اثر کمتری نسبت به ساقه‌های ضخیم‌تر دارد.

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش و بررسی سایر مطالعات انجام شده در کاربرد جت آب، امکان استفاده از این فناوری در شرایطی با ایمنی بیشتر نسبت به کاربرد آن در صنعت وجود دارد و با توجه به محدودیت‌های موجود استفاده از ادوات مکانیکی و آثار مخرب زیست محیطی که استفاده از سموم شیمیایی در کنترل علف‌های هرز به همراه دارد، استفاده از فناوری برش با جت آب برای قطع علف هرز خار شتر و پاکسازی مکان‌های رشد این گیاه، به عنوان روشی مناسب پیشنهاد می‌گردد.

نیروی رانش جت به اندازه ای نیست که ساقه گیاه را به لبه تیغه فشرده کند و باعث برش آن شود. بنابراین تیغه در این روش تنها نقش یک نگهدارنده را دارد که با نگه داشتن ساقه در مقابل جت آب، شرایط مناسب سایش و برش آن را فراهم می‌کند. به منظور درک بهتر روند تغییرات زمان در ارتباط با سایر پارامترها شکل رابطه (۸) به کمک نرم افزار STATGRAPH1.1 رسم شد (شکل ۴).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعات انجام گرفته در زمینه ارزیابی جت آب در برش علف هرز خار شتر و بررسی پارامترهای مؤثر در این عملیات عبارتند از:

اثر گذارترین پارامتر در زمان برش قطر ساقه می‌باشد به طوری که ۷۵ درصد تغییرات زمان را توجیه می‌کند. همچنین این پارامتر با زمان برش در یک رابطه خطی مستقیم و قوی قرار دارد و با زمان برش همبستگی برابر ۰/۸۶ نشان داد.

منابع

1. Andreasen, C., C. H. Hansen, C. Moller, and N. K. Pedersen. 2002. Regrowth of weed species after cutting. *Weed Technology* 16: 873-879.
2. Arabhosseini, A., H. Samimi, H. Mehravar, and J. Massah. 2008. Design of a new cultivator (Part1: Determination of the path and dimensional synthesis. *Agriculture* 9: 63-76. (In Farsi).
3. Becker, R., and G. M. Gray. 1992. Evaluation of a water jet cutting system for slicing potatoes. *Food Science* 57 (1): 132-137.
4. Blowers, R. W. 1969. On the response of an elastic solid to droplet impact. *Institute Mathematics Applications* 5: 167-193.
5. Carreno, R. 2010. High-pressure water-jet technology as a method of improving the quality of post-harvest processing. *Food Bioprocess Technol* 3: 853-860.
6. FAOSTATE. 2007. Available from: <http://www.FAO.org>.
7. Fergedal, S. 1994. Weed control by freezing with liquid nitrogen and carbon dioxide snow - A comparison between flaming and freezing. In: *Maitrise des adventices par voie non chimique. Communications de la quatrième conférence internationale IFOAM, Dijon, France.*
8. Fogelberg, F. 2004. Water-jet cutting of potato tops – some experiences from Sweden 2003. In *Proc. of the 6th European Weed Research Society Workshop on Physical and Cultural Weed Control*, 127-141. D.C. Cloutier and J. Ascard, eds. Lillehammer, Norway.
9. Hansson, D., and J. Ascard. 2002. Influence of developmental stage and time of assessment on hot water weed control. *Weed Research* 42: 307-316.
10. Heisel, T., J. Schou, S. Christensen, and C. Andreasen. 2001. Cutting weeds with a CO₂ laser. *Weed Research* 41: 19-29.
11. Holm, L. G. 1977. *The world's worst weeds – distribution and biology.* The university press of Hawaii, Honolulu.
12. James, R. 2004. Sugarcane harvester and harvesting system, Patent No.: US 6, 807, 799. Oct. 26.
13. Khosrotash, M. 1989. Introduction the water jets. *Proceedings of the First Conference of Mining Engineering. Iran.* (In Farsi).
14. Kolberg, R. L., and J. Lori. 2002. Effect of steam application on cropland weed. *Weed Technology* 16: 43-49.
15. Kong, M. C., D. Axinte, and W. Voice. 2010. Aspects of material removal mechanism in plain water jet milling on gamma titanium aluminide. *Materials Processing Technology* 573-584.
16. Kunaporn, S., M. Ramulu, and M. Hashish. 2003. Mathematical modeling of ultra high pressure water jet peening. *WJTA American Water jet Conference, Texas.*
17. Ligocki, A. 2005. Cutting agricultural goods with high pressure water jet-Schneiden Landwirtschaftlicher Guter mit Hochdruckwasserstrahl, Ph.D. Dissertation, ILF, TU-BS, 2005, ISBN 3-8322-3941-3.
18. McGlynn, W. G., D. D. Bellmer, and S. S. Reilly. 2003. Effect of precutsanitizing DIP and water jet cutting on quality and shelf-life of fresh cut watermelon. *Food Quality* 26 (6): 489-498.
19. Momber, A. W. 2003. *Hydro blasting and coating of steel structures,* Elsevier, UK.
20. Momber, A.W., and R. Kovacevic. 1996. Fracture of brittle multiphase materials by high energy water jets. *Materials Science* 31: 1081-1085.
21. Posselius, J. H., and G. T. Conklin. 1986. Crowning carrots with a high pressure water jet. *Am. Sot. Agric. Eng. paper 86-6550.* 1986 Winter Meetin ASAE, Chicago, IL. Dec.
22. Sartorato, I., G. Zanin, C. Baldoni, and C. de Zanche. 2006. Observations on potential of microwaves for weed control. *Weed Research* 46: 1-9.
23. Sedaghat, A. 2008. Experimental study of water jet used to remove surface coatings. *16th Annual Conference on Mechanical Engineering. Iran.* (In Farsi).
24. Shimizu, S. 2002. High velocity water jets in air and submerged environments, *proceedings 7th Pacific Rim International Conference on Water Jetting Technology*, Lee, CI., Jeon S., and Song J-J. Eds. pp.37-45, Korea, The Korean Society of Water Jet Technology, Seoul.
25. Takaffoli, M. 2010. Finite element modeling of water jet cutting of steel by abrasive water jet. *Technical College paper* 43: 489-499. (In Farsi).