

## استفاده از روش تحلیل حالات بالقوه شکست و اثرات آن (FMEA) به منظور انجام شخم مطلوب با گاواهن برگردان‌دار

مجید نامداری<sup>۱\*</sup> - شاهین رفیعی<sup>۲</sup> - علی جعفری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۳

### چکیده

مدیریت مزرعه بدون بهره‌گیری از روش‌های نوین مدیریتی موفقیت‌های لازم را به‌دست نخواهد آورد. یکی از روش‌های نوین مدیریتی روش تحلیل حالات بالقوه شکست و اثرات آن (FMEA) می‌باشد. روشی جدید برای تحلیل قابلیت اطمینان در طراحی، تولید یا به‌کارگیری فرایندهای مختلف می‌باشد. این روش با شناسایی علل ایجاد خطا قبل از وقوع و ارائه راه‌حل‌های مناسب و همچنین اولویت بندی آن‌ها از طریق معیاری با نام نمره اولویت ریسک (RPN) که خود ترکیبی از شدت، وقوع و تشخیص مشکلات می‌باشد، در رفع مشکل کمک می‌کند. در این مطالعه تلاش شد تا دو شاخص قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها و میزان برگردان بقایا در عملیات شخم با گاواهن برگردان‌دار با استفاده از این روش بهبود یابند. نتایج مطالعه نشان داد که برای بزرگ بودن قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها مهمترین عوامل مدیریتی تأثیرگذار، رطوبت کم، سرعت پیش‌روی کم و عمق شخم زیاد به‌ترتیب با نمره اولویت ریسک ۹۰۰، ۶۳۰ و ۵۶۰ و برای میزان برگردان خاک نیز سرعت پیش‌روی کم، عدم استفاده از پیش‌بر، رطوبت خاک کم و عمق شخم زیاد به‌ترتیب با نمره اولویت ریسک ۷۲۰، ۶۴۸، ۴۹۰ و ۴۲۰ می‌باشند. اجرای یک آزمایش اسپلیت-اسپلیت فاکتوریل با ۱۶ تیمار و سه تکرار نیز نتایج این روش را تصدیق کرد. با اصلاح موارد شناسایی شده برای هر دو شاخص و اجرای مجدد آزمایش مشخص شد اندازه کلوخه‌های حاصل از عملیات شخم حدوداً ۲۰ درصد کاهش یافته و میزان برگردان خاک نیز تقریباً ۲ درصد افزایش می‌یابد. این مطالعه توجه خاص به روش‌های نوین مدیریتی در کشاورزی را روشن‌تر می‌سازد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل حالات بالقوه شکست و اثرات آن، خاک‌ورزی، قطر متوسط وزنی کلوخه، میزان برگردان خاک

### مقدمه<sup>۱</sup>

خاکی نسبت داده می‌شود که در اطراف بذر نرم‌تر و تثبیت شده‌تر باشد (Kepner et al., ۱۹۸۲). اصولاً ساختمان دانه‌دانه خاک که موجب نفوذ سریع آب و حفظ و نگهداری صحیح آن، افزایش گنجایش هوا و تسهیل تهویه خاک و تقلیل مقاومت آن در مقابل ریشه‌دوانی شود، مورد نظر است (Mansouri-Rad, ۲۰۰۷). تحت بعضی شرایط، ممکن است برگردان خاک یک عمل مطلوب محسوب شود. ممکن است لازم شود خاک حاصل‌خیز را به سطح آورده و روی لایه فوقانی که ساختمان خود را از دست داده و از نظر مواد غذایی ضعیف است پوشانده شود. ممکن است لایه سطحی خاک را با لایه‌های عمیق‌تر مخلوط کرد و موجب بهتر شدن خواص فیزیکی خاک سطحی گردید. با برگرداندن خاک، بذر علف‌های هرز دفن شده و در عمقی که مانع سبز شدن آن‌ها می‌گردد، قرار می‌گیرد. چنانچه بقایای محصول، آلوده به حشرات (در مراحل مختلف رشد) یا اسپرهای بیماری‌زا باشد، برگرداندن خاک می‌تواند با دفن کامل آن‌ها، در سالم سازی خاک کمک نماید (Mansouri-Rad, ۲۰۰۷).

حالت فیزیکی خاک نقش مهمی در سبز شدن بذر، رشد و توسعه ریشه گیاه و تولید محصول دارد (Aluko and Koolen; ۲۰۰۰). انجام عملیات صحیح خاک‌ورزی، استفاده از ادوات مناسب و دقت در شرایط اجرای عملیات، باعث می‌گردد تا از تخریب خاک اراضی جلوگیری شده و به حفظ و بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن کمک گردد (Azadeghn et al., ۱۹۹۹). هدف از عملیات خاک‌ورزی ایجاد محیطی مناسب برای جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، کنترل علف‌های هرز، نرم کردن و تثبیت خاک، به زیر خاک بردن بقایای گیاهی و برهم زدن لوله‌های مویین خاک برای کاهش تبخیر می‌باشد (Shafiee, ۲۰۰۶). یک بستر بذر خوب عموماً به

۱-۳ و ۲۰- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران  
\* - نویسنده مسئول: (Email: majidnamdari@gmail.com)

تولیدی، در بخش‌های مختلفی چون بانکداری، منابع انسانی، بهداشت و درمان، و بخش خدمات به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف اجرای FMEA جستجوی تمام موارد شکست در فرایند قبل از اجرای آن است (Dabiri et al., ۲۰۰۹). نتایج FMEA به طراح یا مدیر کمک می‌کند تا خرابی‌های بالقوه، اثرات و راه‌حل‌های آن‌ها را قبل از انجام فرایند یا طراحی شناسایی کند (Ebrahimipour et al., ۲۰۱۰).

در بخش‌های تولیدی و خدماتی، کارهای متعددی با استفاده از این روش، انجام گرفته است (Hu et al., ۲۰۱۰; Ebrahimipour et al., ۲۰۰۹; Korayem and Irvani, ۲۰۰۸; Scipioni et al., ۲۰۰۸ and Thivel et al., ۲۰۰۲). ولی در بخش کشاورزی برخلاف این بخش‌ها، به دلیل جدید بودن این روش، مطالعات بسیار اندکی انجام گرفته است. در این زمینه تنها مطالعه‌ی مشاهده شده که تا حدودی به بخش کشاورزی نزدیک است مطالعات اسکپیونی و همکاران (Scipioni et al., ۲۰۰۲) در یک کارخانه مواد غذایی می‌باشد. آن‌ها از این روش در یک کارخانه تولید بیسکویت استفاده کردند. آن‌ها با اجرای این روش و بهره‌گیری از ابزارهای آن، علل ریشه‌ای نرسیدن به کیفیت مطلوب در فرایند تولید محصول را شناسایی کرده، و براساس اقدامات اصلاحی ارائه شده، به اصلاح مشکل پرداختند. آن‌ها اشاره کردند پس از اجرای این روش کیفیت محصول تولیدی افزایش یافته و قدرت کنترل کارخانه نیز بهبود یافت. پیش‌بینی می‌شود با توجه به رشد سریع این روش در علوم مختلف، همچنین به دلیل ویژگی‌های بارزی نظیر نتیجه‌گرایی و ساختار منسجم آن، به‌زودی این رویکرد مشابه علوم دیگر، در تمام ابعاد مهندسی کشاورزی و به‌خصوص مکانیزاسیون کشاورزی نیز نفوذ کرده و روش‌های حل مسئله در کشاورزی را تحت تأثیر خود قرار دهد.

هدف از این مطالعه بررسی و بهبود اندازه قطر متوسط وزنی کلوخه (MWD) و میزان برگردان خاک در عملیات شخم به عنوان دو شاخص مهم در زمینه کیفیت شخم با استفاده از روش مدیریتی FMEA می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

مطالعات در مزرعه دانشگاه تهران و همچنین گروه ماشین‌های کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج انجام شد. مراحل اجرای FMEA به‌طور مختصر شامل شرحی از فرایند، تعریف وظایف، شناسایی حالات بالقوه شکست، بررسی علل شکست، بررسی اثرات شکست، شناسایی کنترل‌های جاری، برآورد ریسک، تلاش

برگردان کردن خاک موجب مدفون شدن و پوسیدن بقایای سطحی می‌شود. از طرف دیگر، بعضی اوقات مدفون شدن کامل اضافات سطحی، برای کنترل حشراتی که در فصل زمستان لابلای این مواد زیست می‌کنند و یا برای پیشگیری از مزاحمت این مواد در انجام عملیات دقیقی چون کاشت و داشت گیاهان ضروری است (Kepner et al., ۱۹۸۲).

عملکرد گاواهن و انجام عملیات شخم به میزان زیادی به شرایط محیطی و شرایط انجام کار بستگی دارد (Lal, ۱۹۸۹). انجام یک شخم خوب گرچه ممکن است مشکل باشد اما ارزش آن را دارد که برای رسیدن به آن تلاش شود. با شخم خوب هزینه‌های تولید پایین می‌آید، زیرا عملیات خاک‌ورزی کمتری برای آماده سازی بستر بذر مورد نیاز است. همچنین عملکرد محصولات مختلف افزایش می‌یابد (Mansouri-Rad, ۲۰۰۷).

به‌تازگی ابزارهای متنوعی چون مدیریت کیفیت جامع<sup>۱</sup>، مهندسی ارزش<sup>۲</sup>، تولید ناب<sup>۳</sup>، شش سیگما<sup>۴</sup> و تحلیل حالات شکست و اثرات آن<sup>۵</sup> (FMEA)، به‌منظور کاهش اتلاف، افزایش بهره‌وری و بهبود کیفیت در فرایندهای مختلف تولیدی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Saghaei and Habibi, ۲۰۰۸). «تحلیل حالات شکست و اثرات» آن که به اختصار با FMEA نشان می‌دهند ابزاری است که امروزه به‌طور گسترده، در صنایع اتومبیل‌سازی، هوافضا، الکترونیک، شیمیایی و بخش‌های دیگر صنایع تولیدی، به‌منظور شناسایی، اولویت‌دهی و رفع خرابی‌ها، شکست‌ها، ضایعات و مشکلات بالقوه در فرایندهای تولیدی قبل از اجرای فرایند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rhee & Ishii, ۲۰۰۳). منظور از شکست می‌تواند خرابی، اتلاف و هر مورد دیگری باشد (Stagliano, ۲۰۰۴). روش FMEA برای اولین بار در سال ۱۹۴۹ در ارتش ایالت متحده شکل گرفت (Scipioni et al., ۲۰۰۲). در دهه ۱۹۵۰ اهمیت مسئله ایمنی و پیشگیری از حوادث قابل پیش‌بینی در صنعت هوا فضا، موجب توسعه FMEA شد. چندی بعد، این روش به عنوان ابزاری کلیدی برای افزایش ایمنی در فرایندهای صنایع شیمیایی مطرح شد (Dabiri et al., ۲۰۰۹). به تدریج صنایع هوایی و صنایع خودرو سازی این روش را در دستور کار خود قرار دادند (Scipioni et al., ۲۰۰۲). با توجه به کنشی بودن این روش و در نتیجه افزایش سودآوری در بخش‌هایی که این روش را به کار گرفته بودند، این فناوری جدید به سرعت در تمام شاخه‌های علوم رشد کرده و امروزه علاوه بر صنایع مختلف

۱- Quality Management

۲- Value Engineering

۳- Lean Production

۴- Six Sigma

۵- Failure Mode and Effect Analysis

۶- Mean Weight Diameter

به ظاهر آشفته و شلوغ آن‌ها ساختار منظمی می‌بخشد ( Ehrlich, ۲۰۰۲). این نمودار از طریق طوفان ذهنی<sup>۴</sup> و توسط تمام اعضا، تکمیل می‌شود. طوفان ذهنی یک تکنیک ساده و مؤثر برای بروز عقاید مختلف یک گروه در یک بازه زمانی کوتاه برای حل یک مسئله است (Stagliano, ۲۰۰۴). ساختار کلی نمودار استخوان ماهی مورد استفاده در این مطالعه در مورد قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. مشابه این نمودار برای میزان برگردان خاک نیز استفاده شد. بعد از این که تمام عوامل توسط این نمودار شناسایی شدند بایستی ضمن شناسایی مهمترین عوامل از طریق نمره اولویت ریسک، کنترل‌های جاری شناسایی و اقدامات آتی توسط اعضای تیم ارائه گردد. RPN ایزاری برای اولویت بندی حالات خرابی است و رقمی بین ۱ تا ۱۰۰۰ می‌باشد. نمره اولویت ریسک طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Stagliano, ۲۰۰۴):

$$RPN = D \times O \times S \quad (1)$$

در این رابطه: RPN = نمره اولویت ریسک، D = تشخیص خرابی<sup>۵</sup>، O = وقوع خرابی<sup>۶</sup> و S = شدت خرابی<sup>۷</sup> می‌باشد. تشخیص (D)، تخمینی از قابلیت فرایند کنترل است که برای تشخیص علل ضعف طراحی یا قابلیت تشخیص حالات خرابی به کار می‌رود. مقدار تشخیص بین ۱-۱۰ متغیر می‌باشد. وقوع (O)، احتمال وقوع هر علت خرابی که تعیین شده بود را نشان می‌دهد. شدت خرابی (S)، تخمینی از میزان جدی بودن تأثیر حالات خرابی بر فرایند است. مقادیر وقوع و شدت خرابی نیز مشابه تشخیص خرابی، عددی بین ۱-۱۰ می‌باشد (Stagliano, ۲۰۰۴). برای نمره‌دهی به هر یک از این فاکتورها از جداول مخصوصی که در منابع مختلف ارائه شده استفاده می‌شود (Dabiri et al., ۲۰۰۹). رتبه‌بندی توسط اعضای گروه و با استفاده از روش طوفان ذهنی صورت می‌گیرد (Dabiri et al., ۲۰۰۴ & Stagliano, ۲۰۰۹). برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به نمره اولویت ریسک عموماً از پرسشنامه‌ای استفاده می‌شود که این پرسشنامه طوری طراحی شده که اقدامات و راهکارهای حل مشکل را ارائه می‌دهد ( Ehrlich, ۲۰۰۲; Dabiri et al., ۲۰۰۹; Korayem and Irvani, ۲۰۰۸). نمونه‌ای از این پرسشنامه برای شاخص قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است. مشابه این پرسشنامه برای شاخص برگردان خاک نیز استفاده شد.

بعد از شناسایی مهمترین عوامل باید از طریق اجرای یک طرح آزمایشی به اثبات تأثیر عواملی که بیشترین RPN را داشته‌اند بر

برای رفع مشکل، ارزیابی مجدد فرایند و بررسی نتایج می‌باشد (Ebrahimipour et al., ۲۰۱۰; Scipioni et al., ۲۰۰۲). از آنجایی که FMEA یک کار گروهی است، در این مطالعه نیز همانند کارهای صورت گرفته توسط سایر محققین، تیمی متشکل از تعدادی از دانشجویان و اساتید آشنا به امور خاک‌ورزی تشکیل شد.

اجرای پروژه‌های FMEA به این صورت است که بعد از تشکیل تیم و تعریف اهداف و حدود پروژه، به منظور برآورد میزان مشکل، شروع به داده‌برداری می‌شود. بعد از جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از ابزارهایی نظیر نمودار علت و معلول<sup>۱</sup> تمام عوامل شکست، شناسایی شده و بعد از آن این عوامل با استفاده از شاخصی تحت عنوان نمره اولویت ریسک<sup>۲</sup> (RPN) رتبه‌بندی می‌شود. بعد از شناسایی و رتبه بندی علل شکست، در مرحله بعد این علل اصلاح شده و برای برآورد میزان موفقیت و بررسی رفع علل شکست، دوباره اندازه‌گیری‌هایی انجام می‌شود. در ادامه شرح بیشتری از نحوه انجام این مطالعه در مزرعه موردنظر ارائه می‌شود. هدف در این پروژه بهبود دو شاخص قطر متوسط وزنی کلوخه و میزان برگردان خاک تعریف شد. آزمایش‌ها هم‌زمان با شروع عملیات خاک‌ورزی در مزرعه مورد نظر شروع شد. بنابراین برای برآورد مشکل یعنی اندازه کلوخه‌هایی که در عملیات شخم ایجاد می‌شود و همچنین میزان برگردان خاک یک قطعه ۱۰۰۰ متر مربعی (قطعه شماره ۱) با ابعاد ۲۰×۵۰ متر در کنار زمین‌هایی که تحت عملیات شخم برای سال زراعی بعدی بودند انتخاب گردید. این زمین بعد از شخم، دوبار عمود برهم دیسک‌زنی شد. به‌منظور اندازه‌گیری، این قطعه زمین به ۲۰ کرت کوچک‌تر با ابعاد ۵×۱۰ متر تقسیم شده و از هر کدام دو نمونه به‌صورت تصادفی انتخاب شد. برای نمونه‌گیری از یک چهار چوب ۱۵×۱۵ سانتی‌متر استفاده شد (RNAM, ۱۹۹۵). شرایط خاک و نحوه انجام شخم از قبیل رطوبت، بافت خاک، میزان بقایای محصول قبلی، عمق شخم، سرعت شخم، مشخصات تراکتور، مشخصات گاوآهن، شرایط محیطی و موارد دیگر ثبت گردید. برای اندازه‌گیری دو شاخص قطر متوسط وزنی کلوخه و میزان برگردان خاک از روش ارائه شده در استانداردها استفاده شد (RNAM, ۱۹۹۵). نوع بافت خاک زمین‌های مورد آزمایش، از نوع لومی با ۲۶ درصد رس، ۳۵ درصد سیلت و ۳۹ درصد شن بود. بعد از برآورد میزان مشکل، نوبت بررسی علل شکست است. بدین منظور یکی از مفیدترین و پرکاربردترین ابزارها نمودار علت و معلول می‌باشد که به‌نام نمودار استخوان‌ماهی<sup>۳</sup> نیز می‌شناسند. نمودار علت و معلول به‌سازماندهی علل و عواملی (Xهای بحرانی) که موجب پیدایش اشکالات (Yهای بحرانی) می‌شوند کمک می‌کند و

۴- Brain Storming

۵- Detection

۶- Occurrence

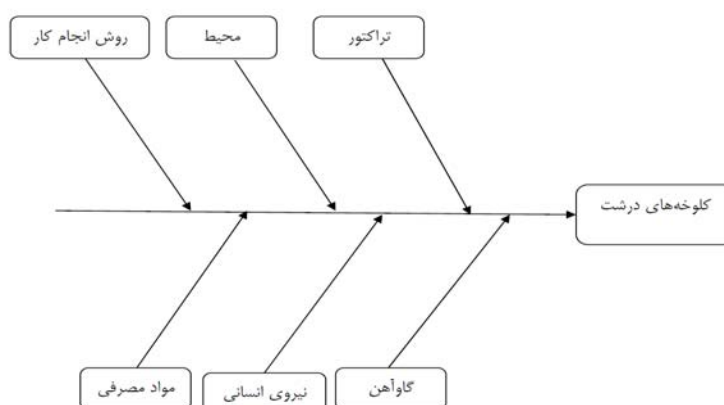
۷- Severity

۱- Cause and Effect Diagram

۲- Risk Priority Number

۳- Fishbone Diagram

میزان شاخص‌های مورد مطالعه پرداخت.



شکل ۱- نمودار استخوان ماهی مورد استفاده برای قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها

Fig. ۱- Fish bone diagram used for clod MWD

آنالیز حالات شکست و آثار آن (FMEA)											
تاریخ:						شاخص: قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها (اندازه کلوخه‌ها)					
						مشخصات فرد: .....					
نتایج											
گام فرایند	حالات بالقوه شکست	آثار بالقوه شکست	شدت اثر (S)	علل بالقوه شکست	وقوع (O)	کنترل‌های جاری	شدت (D)	RPN	اقدامات پیشنهادی	اقدامات آتی	ردیف
RP	D	S	O	RPN	D	RPN					

شکل ۲- فرم FMEA برای قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها

Fig. ۲- FMEA form for clod MWD

سانتی‌متر و سرعت پیش‌روی نیز دارای دو سطح ۳ و ۵/۵ کیلومتر بر ساعت بودند. قطعه زمینی که این آزمایش‌ها در آن صورت گرفت (زمین شماره ۲) دقیقاً در کنار زمین شماره ۱ بود. سطوح مختلف عوامل بر اساس شرایط شخم در حالت عادی و حالت پیشنهادی گروه انتخاب شده بودند. وسیله خاک‌ورزی مورد استفاده یک دستگاه گاواهن سه‌خیش ساخت ایران با عرض کار هر خیش ۳۵ سانتی‌متر بود. در تمام آزمایشات از یک تراکتور جاندر مدل ۳۱۴۰ با توان ۱۰۰ اسب بخار استفاده شد. آزمایش‌ها در ۴۸ کرت و با ابعاد ۳/۷۵ متر در

بنابراین در این مطالعه نیز باتوجه به نتایج حاصل از نمره اولویت ریسک، یک آزمایش اسپلیت-اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار که در آن رطوبت خاک و تجهیز گاواهن یا عدم تجهیز آن به پیش‌بر به‌صورت خرد شده و سطوح مختلف عمق شخم و سرعت پیش‌روی به‌صورت فاکتوریل بود، استفاده شد. در این مطالعه رطوبت خاک دارای دو سطح ۱۰ و ۱۵ درصد بر مبنای وزن خشک، گاواهن دارای دو سطح مجهز به پیش‌بر و بدون پیش‌بر، عمق شخم دارای دو سطح ۲۰-۱۵ و ۳۰-۲۵

اسپلیت-اسپلیت فاکتوریل نشان می‌دهد. در این جدول تنها اثرات عوامل اصلی نشان داده شده است. همان‌گونه که جدول (۲) نشان می‌دهد تأثیر رطوبت خاک بر هر دو عامل مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. این بدین معنی است که با افزایش رطوبت خاک از ۱۰ درصد به ۱۵ درصد، اندازه کلوخه‌ها کوچکتر شده و میزان برگردان خاک بیشتر می‌شود. جدول (۲) نشان می‌دهد عمق شخم نیز بر هر دو عامل تأثیر معنی‌داری دارد. بنابراین با کاهش عمق از ۳۰-۲۵ سانتی‌متر به ۲۰-۱۵ سانتی‌متر، اندازه کلوخه‌ها کاهش و میزان برگردان خاک افزایش یافته است. نتایج جدول (۲) همچنین نشان دهنده آن است که سرعت پیش‌روی در سطح ۵ درصد بر اندازه کلوخه‌ها تأثیر معنی‌داری داشته است و استفاده از پیش‌بر نیز باعث شده است تا میزان برگردان خاک بیشتر شود. بنابراین با افزایش سرعت پیش‌روی از ۳ کیلومتر بر ساعت به ۵/۵ کیلومتر بر ساعت، کلوخه‌های کوچک‌تری تشکیل شده است. اگرچه از لحاظ آماری تأثیر سرعت پیش‌روی بر میزان برگردان خاک معنی‌دار نشده است ولی داده‌ها نشان می‌داد که با افزایش سرعت، میزان برگردان خاک تمایل به افزایش دارد. با توجه به این نتایج، نظرات اعضای تیم مورد تأیید قرار می‌گیرد. به دلیل این که اهداف مورد نظر از همین جدول (جدول ۲) تأمین می‌گردد از تفسیر بیشتر تجزیه واریانس صرف نظر گردید. در زمینه‌ی طرح آماری مورد اجرا، نتایج مشابهی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است. احمدی و ملازاده (Ahmadi and Mollazade, ۲۰۰۹) که بررسی تأثیر دو عمق شخم ۲۰-۱۵ و ۳-۲۵ سانتی‌متر و چهار سطح رطوبت ۱۳-۱۰، ۱۳-۱۵، ۱۸-۱۵ و ۲۰-۱۸ درصد بر مینای وزن خشک بر قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها در عملیات شخم با گاواهن برگردان‌دار پرداخته بودند گزارش کردند که در عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متر و رطوبت ۲۰-۱۸ درصد کوچک‌ترین کلوخه‌ها ایجاد می‌شود. کبیری و زارعیان (Kabiri and Zarean, ۲۰۰۲) به بررسی تأثیر عمق شخم و سرعت پیش‌روی تراکتور بر اندازه کلوخه‌های ایجاد شده و میزان مدفون شدن پوشش گیاهی در عملیات شخم با گاواهن برگردان‌دار پرداخته و گزارش کردند که با افزایش سرعت، کیفیت پشته‌های شیار یکنواخت‌تر شده و میزان خرد شدن توده خاک برش خورده بهبود یافته و مدفون شدن پوشش گیاهی سطح خاک زیادتر می‌شود.

در مرحله آخر نیز شخم در شرایط اصلاح شده انجام گرفته و نتایج با شرایط قبلی مورد مقایسه قرار گرفت. شکل (۳) مقایسه‌ی مقادیر MWD، و شکل (۴) مقایسه‌ی میزان برگردان خاک در دو حالت قبل و بعد از اجرای FMEA را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل (۳) برمی‌آید با اجرای روش FMEA به‌جز چند مورد مقدار MWD در نمونه‌های مورد بررسی کاهش یافته این بدان معنی است که اجرای این روش باعث بهبود شرایط شخم شده است. در مورد میزان برگردان خاک نیز شکل (۴) نشان می‌دهد که در اکثر نمونه‌ها درصد برگردان خاک بعد از اجرای FMEA بیشتر بوده است. آزمون t همبسته نیز اختلاف معنی‌داری بین دو حالت قبل و بعد از اجرای

۳۳ متر اجرا شد. بعد از شناسایی و اثبات عوامل مشکل‌ساز و انتخاب بهترین راه‌حل‌ها، بایستی به رفع مشکل یا اصلاح، اقدام شود. در این مطالعه نیز فاکتورهای مورد بررسی در شرایط اصلاح شده مجدد در یک قطعه زمین ۱۰۰۰ متر مربعی (زمین شماره ۳) و دقیقاً در مجاورت زمین شماره (۱) مورد بررسی و محاسبه قرار گرفته و از طریق آزمون t با شرایط قبل از اجرای FMEA مورد مقایسه قرار گرفت. در این حالت نیز مشابه حالت اول دو نمونه از هر کدام از کرت‌ها (۲۰ کرت جدید) انتخاب شد. تلاش شد که بین دو حالت به‌جز مواردی که به‌صورت کنترل شده اعمال شده بود، شرایط دقیقاً یکنواخت باشد. برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد.

## نتایج و بحث

بررسی شرایط اجرای شخم قبل از اجرای FMEA و در قطعه زمین شماره (۱) نشان داد که شرایط انجام عملیات شخم در رطوبت ۱۰ درصد، عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر و سرعت پیش‌روی ۳ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که میانگین اندازه کلوخه‌ها و میزان برگردان خاک در این قطعه زمین به‌ترتیب ۴/۴۰ میلی‌متر و ۹۳/۵۱ درصد می‌باشند. استفاده از نمودار علت و معلول و تکمیل آن از طریق طوفان ذهنی باعث شد تا تمام عوامل مؤثر بر دو شاخص مورد مطالعه یعنی اندازه کلوخه‌ها و میزان برگردان خاک شناسایی شوند. اولویت‌دهی این عوامل مشخص کرد که در مورد اندازه کلوخه‌ها سه عامل رطوبت خاک، سرعت پیش‌روی و عمق شخم به‌ترتیب با نمره اولویت ریسک ۹۰۰، ۶۳۰ و ۵۶۰ مهمترین عوامل مؤثر بر نامطلوب بودن اندازه کلوخه‌ها می‌باشند. در مورد میزان برگردان خاک نیز سرعت پیش‌روی کم، عدم استفاده از پیش‌بر، رطوبت کم خاک و عمق زیاد شخم به‌ترتیب با نمره اولویت ریسک ۷۲۰، ۶۴۸، ۴۹۰ و ۴۲۰ به عنوان مهمترین عوامل شناسایی شدند. براساس نظر اعضای تیم، عدم استفاده از پیش‌بر باعث می‌شود که بقایای گیاهی موجود در زمین به‌خوبی بریده نشده و باعث اختلال در روند عادی برگردان شدن خاک گردد. جدول (۱) این عوامل به‌همراه نمره اولویت ریسک و راه‌حل‌های پیشنهادی که از طریق طوفان ذهنی به‌دست آمده است را نشان می‌دهد.

براساس نظرات اعضای تیم، رطوبت مطلوب خاک، ۱۵ درصد بر مینای وزن خشک، سرعت پیش‌روی و عمق شخم مطلوب نیز به ترتیب، ۵/۵ کیلومتر بر ساعت و ۲۰-۱۵ سانتی‌متر تشخیص داده شدند. این شرایط براساس توان و شرایط مزرعه انتخاب شدند. همچنین تصمیم گرفته شد برای بهبود میزان برگردان خاک از پیش‌بر نیز استفاده شود.

جدول (۲) بخشی از نتایج تجزیه واریانس را برای آزمایش

حالت قبل و بعد در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. FMEA هم برای MWD و هم برای میزان برگردان خاک نشان داد. بر اساس نتایج آزمون t برای شاخص MWD بین دو حالت قبل و بعد در سطح ۱ درصد و برای شاخص میزان برگردان خاک بین دو

جدول ۱- مهمترین عوامل مؤثر بر اندازه کلوخه‌ها و میزان برگردان خاک به همراه نمره اولویت ریسک و راه‌حل‌های پیشنهادی

Table ۱- The most important factors affecting the clod MWD and soil inversion with RPN and recommended actions

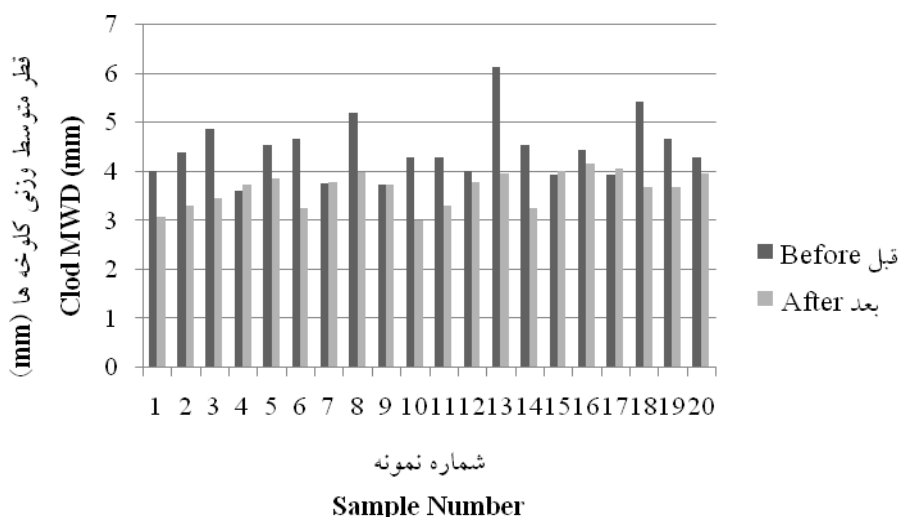
راه‌حل‌های پیشنهادی	RPN	علل بالقوه شکست
<b>اندازه کلوخه‌های خاک</b>		
انجام عملیات شخم در رطوبت مناسب، تلاش برای جلوگیری از به تعویق افتادن عملیات، هیرم کردن زمین به صورت مرحله‌ای	۹۰۰	رطوبت خاک کم است
افزایش سرعت پیش‌روی، استفاده از دنده‌های سبک‌تر، تناسب بین گاواهن و تراکتور	۶۳۰	سرعت پیش‌روی کم است
کاهش عمق شخم در حدی که مشکلی از لحاظ تهیه بستر مناسب بذر ایجاد نشود	۵۶۰	عمق شخم بیش از حد زیاد است
<b>میزان برگردان خاک</b>		
افزایش سرعت پیش‌روی، استفاده از دنده‌های سبک‌تر، تناسب بین گاواهن و تراکتور	۷۲۰	سرعت پیش‌روی کم
مجهز نمودن گاواهن به پیش‌بر، تنظیم صحیح پیش‌بر	۶۴۸	عدم استفاده از پیش‌بر
انجام عملیات شخم در رطوبت مناسب، تلاش برای جلوگیری از به تعویق افتادن عملیات، هیرم کردن زمین به صورت مرحله‌ای	۴۹۰	رطوبت کم خاک
کاهش عمق شخم در حدی که مشکلی از لحاظ تهیه بستر مناسب بذر ایجاد نشود	۴۲۰	عمق زیاد شخم

جدول ۲- تجزیه واریانس مربوط به اثرات اصلی فاکتورهای مورد مطالعه بر قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها و میزان برگردان خاک

Table ۲- Variance analysis of clod MWD and soil inversion (only main effects)

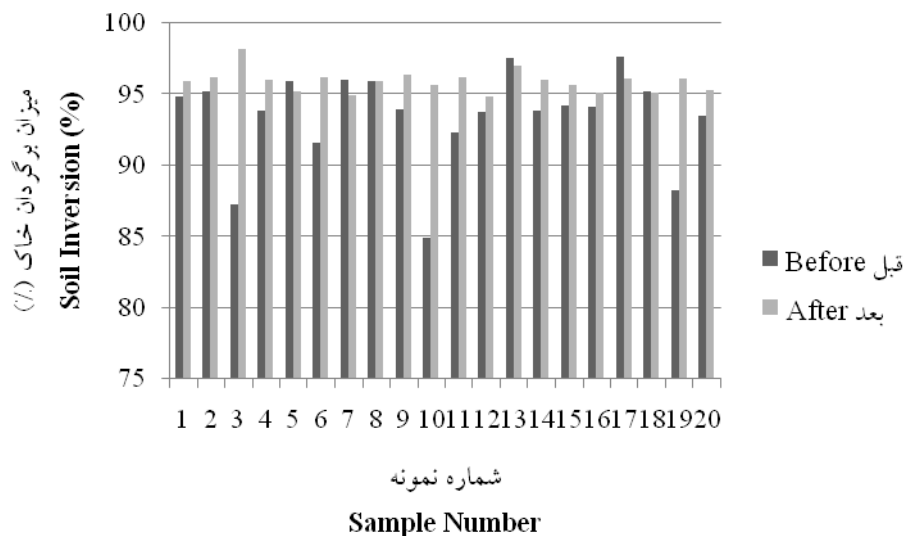
میانگین مربعات		درجات آزادی	منابع تغییرات
میزان برگردان خاک	MWD		
۲۹۴/۷۱ <sup>**</sup>	۱۵۸۴/۱۶ <sup>**</sup>	۱	رطوبت
۳۶۰/۷۰ <sup>**</sup>	۵۴۰/۰۸ <sup>*</sup>	۱	عمق
۱/۸۷ <sup>NS</sup>	۶۴۲/۳۰ <sup>*</sup>	۱	سرعت
۲۰۳/۱۸ <sup>*</sup>	۱۸۳/۵۴ <sup>NS</sup>	۱	پیش‌بر

\* و \*\* - به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد را نشان داده و NS بی‌معنی بودن را نشان می‌دهد



شکل ۳- مقایسه قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها در دو حالت قبل و بعد از اجرای FMEA

Fig. ۳. Clod MWD before and after implementation of FMEA



شکل ۴- مقایسه درصد برگردان بقایا در دو حالت قبل و بعد از اجرای FMEA  
 Fig. 4. Soil inversion before and after implementation of FMEA

### نتیجه گیری کلی

شده کوچک‌تر و میزان برگردان بقایا نیز بیشتر است. از لحاظ شاخص‌های مورد مطالعه، سرعت پیشروی ۵/۵ کیلومتر بر ساعت نیز نسبت به سرعت ۳ کیلومتر بر ساعت در اولویت می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد که اجرای FMEA باعث شد تا اندازه کلوخه‌های حاصل از عملیات شخم حدوداً ۲۰ درصد کاهش یافته و میزان برگردان خاک تقریباً ۲ درصد افزایش یابد. نتیجه‌ی مهم‌تری که می‌توان از این مطالعه گرفت توجه به روش‌های نوین مدیریتی در کشاورزی می‌باشد. با استفاده از روش‌های نوین در کشاورزی و به خصوص در مدیریت مزارع بزرگ و کشت و صنعت‌ها می‌توان علاوه بر بهبود کیفیت کارها، مدیریت اقتصادی امور را نیز تقویت کرد.

### سپاسگزاری

از مسئولین پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران بخاطر همکاری صمیمانه و تأمین اعتبار این طرح همچنین تمام اعضای گروه حل مسئله، به‌خاطر هم‌فکری سپاسگزاری می‌گردد.

اجرای یک شخم مناسب با بهبود حالت فیزیکی خاک نقش مهمی در سبز شدن بذر، رشد و توسعه ریشه گیاه و تولید محصول دارد. براساس نتایج این مطالعه با بهره‌گیری از روش مدیریتی تحلیل حالات بالقوه شکست و اثرات آن می‌توان به اهداف یک شخم مطلوب رسید. در این مطالعه اجرای روش FMEA مشخص کرد که برای کاهش اندازه کلوخه‌ها و بهبود میزان برگردان خاک در عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار بایستی عملیات در عمق، سرعت پیشروی و رطوبت مناسب انجام پذیرفته و گاوآهن را نیز به پیش‌بر مجهز نمود. بر اساس نتایج رطوبت ۱۵ درصد بر مبنای وزن خشک نسبت به رطوبت ۱۰ درصد کلوخه‌های کوچک‌تری ایجاد کرده و باعث افزایش برگردان خاک نیز می‌شود. افزایش رطوبت از ۱۰ درصد به ۱۵ درصد باعث کاهش ۳۹ درصد در اندازه‌ی کلوخه‌ها شده و حدوداً ۵ درصد نیز میزان برگردان خاک افزایش می‌یابد. در عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متر نسبت به عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر، اندازه کلوخه‌های ایجاد

### منابع

- 1- Ahmadi H., and Mollazade K. ۲۰۰۹. Effect of plowing depth and soil moisture content on reduced secondary tillage. *Agricultural Engineering International: The CIGR E Journal* ۱۱: ۱-۹.
- 2- Aluko O.B., and Koolen A.J. ۲۰۰۰. The essential mechanics of capillary crumbling of structured soil. *Soil & Tillage Research* ۵۵: ۱۱۷-۱۲۶.
- 3- Azadeghn B., Rafahi H., Shahooei S., and Magd F. ۱۹۹۹. Estimating soil erosion due to moldboard

- plowing in sloping agricultural land using Cs<sup>۱۳۷</sup> as tracer. Iranian Journal of Agricultural Sciences ۳۰(۴): ۷۵۱-۷۵۸. (In Farsi)
- ۴- Dabiri Gh., Ghadiri Sani M., and Vadaye Kheiri H. ۲۰۰۹. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Industrial Research & Training Center of Iran, Tehran (In Farsi)
- ۵- Ebrahimipour V., Rezaie K., Shokravi S. ۲۰۱۰. An ontology approach to support FMEA studies. Expert Systems with Applications ۳۷:۶۷۱-۶۷۷.
- ۶- Ehrlich B.H. ۲۰۰۲. Transactional Six Sigma and Lean servicing: Leveraging Manufacturing Concepts to Achieve World-Class Service. St. Lucie Press, Florida.
- ۷- Hu A.H., Hsu Ch., Kuo T., and Wu W. ۲۰۰۹. Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP. Expert Systems with Applications ۳۶:۷۱۴۲-۷۱۴۷.
- ۸- Kabiri K., and Zarean S. ۲۰۰۲. Evaluation of draft requirement and soil inversion of moldboard plow at different levels of speed and plowing depth. Journal of Agricultural Science and Natural Recourses. ۹(۲): ۱۲۹-۱۳۸. (In Farsi)
- ۹- Kepner R.A., Bainer R., and Barger E.L. ۱۹۸۲. Principles of Farm Machinery. The AVI Publishing Company, Westport, Connecticut.
- ۱۰- Korayem M.H., and Iravani A. ۲۰۰۸. Improvement of ۳P and ۶R mechanical robots reliability and quality applying FMEA and QFD approaches. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing ۲۴: ۴۲۷-۴۸۷.
- ۱۱- Lal R. ۱۹۸۹. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropic versus temperate environment. Advances in agronomy ۴۲:۸۵-۱۹۷.
- ۱۲- Mansouri-Rad D. ۲۰۰۷. Farm Machinery and Tractors. Bu-Ali Sina University Press, Hamadan. (In Farsi)
- ۱۳- RNAM. ۱۹۹۵. RNAM Test Codes & Procedures for Farm Machinery. Technical Series No.۱۳. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific Regional Network for Agricultural Machinery.
- ۱۴- Rhee S.J., and Ishii K. ۲۰۰۳. Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability. Advanced Engineering Informatics ۱۷: ۱۷۹-۱۸۸.
- ۱۵- Saghaei A., and Habibi A. ۲۰۰۸. Influence of six sigma in Iran. Journal of Iran Management Sciences, ۳(۹): ۱۵۱-۱۷۱. (In Farsi)
- ۱۶- Scipioni A., Saccarola G., Centazzo A., and Arena F. ۲۰۰۲. FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company. Food Control ۱۳: ۴۹۵-۵۰۱.
- ۱۷- Shafiee A. ۲۰۰۶. Tillage Machinery. University Centre of Publication, Tehran. (In Farsi)
- ۱۸- Stagliano A.A. ۲۰۰۴. Six Sigma Advanced Tools Pocket Guide. McGraw-Hill, New York
- ۱۹- Thivel P., Bultel Y., and Delpech F. ۲۰۰۸. Risk analysis of a biomass combustion process using MOSAR and FMEA methods. Journal of Hazardous Materials ۱۵۱: ۲۲۱-۲۳۱.