

اثر مقدار بار و فشار باد یک لاستیک با گوشت سخت بر برخی عوامل مرتبط با فشردگی خاک اندازه‌گیری شده در مخزن خاک

احمد شریفی مالواجردی^{۱*} - محمد یونسی الموتی^۲ - احمد محسنی منش^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۲۷

چکیده

عوامل زیادی در ایجاد فشردگی خاک مؤثر هستند. یکی از این عوامل، واکنش خاک به فشارهای وارده به خاک به وسیله لاستیک و ابزار درگیر با خاک است. در این تحقیق با استفاده از یک لاستیک سخت^۴ تأثیر بار و فشار باد لاستیک بر برخی عوامل مرتبط با فشردگی خاک شامل: عمق و اثر لاستیک، شاخص مخروط و شاخص مقاومت افقی خاک در لایه های مختلف توسط یک حسگر اندازه گیر پروفیل فشردگی خاک^۵ در مخزن خاک^۶ با بافت لوم شنی، اندازه گیری شد. این حسگر شامل هشت عدد لبه های گوه ای شکل (فلپ) مجهز شده به استرین گیج بود که بر روی پیشانی یک شاخه زیرشکن نصب گردیده و عمق کار آن ۴۵ سانتی متر بود. این تحقیق با استفاده از آزمایش فاکتوریل در دو سطح بار لاستیک (۶/۳ کیلو نیوتن و ۲۳/۹ کیلو نیوتن) و سه سطح فشار باد (۳۲۴، ۵۲۴ و ۷۲۴ کیلو پاسکال) و با ۳ تکرار، در قالب طرح کاملاً تصادفی، به اجرا در آمد. با کاربرد حسگر اندازه گیر فشردگی خاک، فشردگی خاک در لایه های مختلف از سطح خاک تا عمق ۴۵ سانتی متری و با فواصل ۵ سانتی متر اندازه گیری شد. نتایج نشان داد فشردگی خاک ناشی از میزان بار عمودی وارد بر لاستیک در لایه های زیرین بیشتر از لایه های سطحی خاک بود. در حالیکه اثر فشار باد لاستیک عکس این موضوع را نشان داد و در عمق های سطحی (در دو سطح بار استفاده شده) بزرگتر از اثر آن در عمق های زیرین خاک بود. با افزایش میزان بار، مقادیر عرض اثر لاستیک، عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط افزایش یافت. هم چنین با افزایش مقدار فشار باد، مقدار عرض اثر لاستیک کاهش و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک افزایش یافتند.

واژه های کلیدی: بار محوری، حسگر، فشار باد، فشردگی خاک، لاستیک

مقدمه

(Chancellor, 1975). توزیع فشار در سطح تماس لاستیک و خاک به میزان بار، فشار باد لاستیک، درصد رطوبت و جرم مخصوص ظاهری اولیه خاک بستگی دارد (Mohsenimanesh and Ward, 2007 and 2010; Chancellor, 1975; Sohne, 1958). در همین راستا (Mohsenimanesh and Ward, 2007) توزیع تنش های تماسی بین لاستیک و خاک را در اثر بارها و فشار بادهای مختلف با استفاده از حسگرهای فشاری بررسی نمودند. آنها نتیجه گرفتند که اگر از فشار باد استاندارد استفاده شود فشردگی خاک حداقل خواهد شد. محققین روش های متعددی را برای اندازه گیری تنش عمودی لاستیک بر خاک، با استفاده از روش های مختلف ارائه نموده اند.

(Mohsenimanesh and Ward, 2007 and 2010; Arvidsson and Keller, 2007; Raper *et al.*, 1995; Reaves and Cooper, 1960; Sohne, 1958; Keller and Arvidsson, 2004; Schjønning *et al.*, 2008; Schjønning and Lawanda, 2010)

تردد ماشین های کشاورزی و ادوات سنگین لایه سختی را در زیر قسمت شخم خورده شده ایجاد می کند و با فشردگی ساختن آن موجب افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک می گردد. نتیجه این عمل کاهش نفوذ پذیری خاک، کم شدن توسعه ریشه های گیاه و کاهش عملکرد محصول است. عوامل زیادی در ایجاد فشردگی خاک مؤثر هستند. یکی از عوامل، فشار و تغییر شکل های وارده به خاک به وسیله تراکتورهای چرخ لاستیکی و چرخ زنجیری است

۱، ۲ و ۳- استادیار پژوهش، وزارت جهاد کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، ایران

(*- نویسنده مسئول: (Email: ahmadsharifi47@yahoo.com

4- Stiff carcass tyre

5- Soil compaction profile sensor

6- Soil bin

سطح تماس لاستیک و عرض خط اثر لاستیک در دو نوع خاک لومی-شنی و لومی-رسی در یک کانال خاک بررسی شد. محققان برای انجام آزمایش‌های خود از یک لاستیک تراکتور کشاورزی نوع رادیال (Goodyear 18.4 R38 Dyna) استفاده نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش فشار باد از ۴۱ به ۱۲۴ کیلوپاسکال، عرض اثر لاستیک تا ۸٪ کاهش و با افزایش بار دینامیکی از ۱۳/۱ به ۲۵/۳ کیلو نیوتن، عرض اثر لاستیک تا ۸٪ افزایش می‌یابد. آنها همچنین دریافته‌اند که افزایش باد لاستیک، سطح تماس را به میزان ۱۸٪ کاهش می‌دهد در حالیکه با افزایش بار دینامیکی، سطح تماس تا ۲۸٪ افزایش می‌یابد (Raper et al., 1995). افزایش فشار باد و بار دینامیکی هر دو باعث افزایش سطح توزیع فشار داخلی لاستیک و خاک می‌گردد که در نزدیکی مرکز لاستیک متمرکز شده است (Reaves and Cooper, 1960). تأثیر سه فشار باد لاستیک (۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ کیلو پاسکال) و ۱ و ۵ بار عبور ماشین برداشت و حمل و نقل چوب درختان جنگلی بر عمق اثر لاستیک و فشردگی خاک بررسی شد. نتایج نشان داد، مقادیر فشار باد تأثیر معنی داری بر عمق اثر لاستیک نداشته ولی با افزایش تعداد عبور ماشین این عمق افزایش می‌یابد. هم چنین مقدار شاخص مخروط خاک در عمق یک تا ۱۰ سانتی متر در فشار باد‌های مختلف معنی دار نگردید (Eliasson, 2005; Botta et al., 2009).

کاربرد لاستیک با گوشت سخت در ادوات دنباله بند و حمل و نقل مزرعه ای و ماشین‌های حمل کودهای دامی مایع و جامد می‌باشد. تفاوت این لاستیک با لاستیک‌های رایج کشاورزی در میزان فشار باد، بار، الگوی آج و سختی بالای گوشت لاستیک می‌باشد. این لاستیک در حداکثر فشار باد ۷۹۳ کیلو پاسکال (۱۱۵ پوند بر اینچ مربع) و بار ۵۴/۲ کیلونیوتن (۵۵۳۴ کیلوگرم) قابلیت کار دارد. هدف از تحقیق انجام شده بررسی و تعیین اثر مقدار بار و فشار باد یک لاستیک با گوشت سخت بر عوامل مرتبط با میزان فشردگی خاک شامل عرض و عمق اثر لاستیک، شاخص مخروط خاک و شاخص مقاومت افقی خاک در لایه‌های مختلف است.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین تأثیر بار و فشار باد یک لاستیک با گوشت سخت بر برخی عوامل مرتبط با فشردگی خاک شامل: عرض و عمق اثر لاستیک، آزمایشی در مخزن خاک دانشکده سلیسو دانشگاه کرانفیلد انگلستان انجام شد. مقادیر شاخص مخروط خاک و نیروی مقاوم افقی خاک در لایه‌های مختلف پس از عبور لاستیک به ترتیب با فروسنج عمودی و یک حسگر اندازه گیر پروفیل فشردگی خاک، اندازه گیری شدند (Sharifi et al., 2007). برای این منظور یک لاستیک سخت رادیال (Michelin) (18R, 22.5XL) (شکل ۱، چپ) در

سوهن (۱۹۵۸) اثر بار محوری لاستیک بر فشردگی خاک را برای چهار اندازه لاستیک در یک فشار باد معین مورد بررسی قرار داد و مشاهده کرد که با افزایش بار محوری، عمق لایه‌های فشرده در نیمرخ خاک افزایش می‌یابد. وی همچنین نتیجه گرفت که فشردگی خاک ناشی از بارهای سنگین محوری (بیشتر از ۱۰ تن بر محور) روی خاک‌های مرطوب می‌تواند تا عمق ۶۰ سانتی متر گسترش یابد. بررسی اثر ترکیبات مختلفی از بار و فشار لاستیک بر فشردگی خاک نشان داد که افزایش فشار باد باعث افزایش معنی داری در جرم مخصوص ظاهری خاک در نزدیکی سطح خاک شده و اثر کمتری در عمق خاک دارد (Smith and Dickson, 1990; Ansoorge and Godwin, 2007 and 2008). در تحقیق دیگری اثر چهار بار ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلونیوتن و سه فشار باد ۱۰۰، ۲۴۰ و ۳۸۰ کیلوپاسکال را بر فشردگی خاک در خاک رسی یک کانال خاک با استفاده از یک لاستیک ترلبرگ^۱ (600/55- 26.5) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش فشار باد باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری، مقاومت به نفوذ خاک و عمق خط اثر لاستیک تحت یک بار ثابت می‌گردد. این سه عامل به ویژه جرم مخصوص ظاهری همیشه به طور سازگار کاهش پیدا نمی‌کنند و مشخص شد که بیشتر از فشار باد به بار لاستیک وابستگی دارند. نتایج همچنین نشان داد که هم بار و هم فشار باد لاستیک اثر معنی داری بر جرم مخصوص ظاهری، اندازه خط اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک دارند (McDonald et al., 1996).

فشار تماس زمین که غالباً معادل مجموع فشار باد لاستیک و فشار گوشت لاستیک برای تراکتورهای چرخ لاستیکی است (Plackett, 1984)، تأثیر مهمی روی فشردگی سطحی تا عمق تقریبی ۱۵ سانتی متر دارد و با تقسیم بار محور بر کل سطح تماس لاستیک‌ها محاسبه می‌شود. بار محوری یک عامل مهم ایجاد فشردگی عمقی خاک تا عمق تقریبی ۴۰ سانتی متر است. بار محور روی یک تراکتور توسط وزن آن تراکتور تعیین می‌گردد (McPhee, 2004). در تحقیقات دیگری اثر فشار باد لاستیک بر فشردگی خاک بررسی شد. در این بررسی ترکیبات مختلفی از بار و فشار لاستیک را در آزمایش‌ها به کار گرفتند و دریافته‌اند که افزایش فشار باد باعث افزایش معنی داری در جرم مخصوص ظاهری خاک در نزدیکی سطح خاک شده و اثر کمتری در عمق خاک دارد. (Smith and Dickson, 1990; Ansoorge and Godwin, 2007 and 2008). فشار باد ۴۱ و ۱۲۴ کیلو پاسکال و دو بار دینامیکی ۱۳/۱ و ۲۵/۳ کیلو نیوتن را بر تغییر شکل خاک، توزیع فشار داخلی لاستیک و خاک،

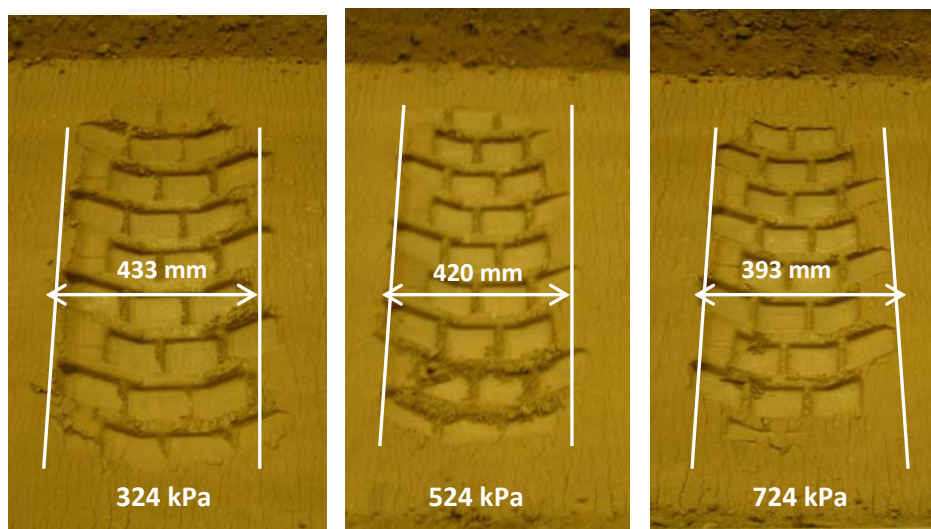
(شکل ۲). آزمایشات از طریق طرح فاکتوریل با دو فاکتور بار لاستیک (در دو سطح) و فشار باد لاستیک (در سه سطح) و با ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. برای مقایسه میانگین ها، از آزمون دانکن استفاده شد.

حسگر اندازه گیر نیمرخ فشردگی خاک (شکل ۱، راست)، در امتداد طول مخزن خاک کشیده شد و نیروی افقی خاک در نیمرخ خاک زیر خط اثر لاستیک اندازه گیری شد و افزایش تغییرات نیرو با عمق را زیر خط اثر لاستیک نشان داد. این حسگر شامل هشت عدد لبه های گوه ای شکل (فلپ) مجهز شده به استرین گیج بود که بر روی پیشانی یک شاخه زیر شکن نصب گردیده و عمق کار آن ۴۵ سانتی متر بود. (Sharifi et al., 2007)

بارهای ۶/۳ کیلو نیوتن (۶۴۲ کیلوگرم) و ۲۳/۹ کیلو نیوتن (۲۴۴۲ کیلوگرم) و سه فشار باد ۳۲۴ کیلو پاسکال (۴۷ پوند بر اینچ مربع)، ۵۲۴ کیلو پاسکال (۷۶ پوند بر اینچ مربع) و ۷۲۴ کیلو پاسکال (۱۰۵ پوند بر اینچ مربع) بر اساس توصیه کارخانه سازنده در شرایط متفاوت خاک مزرعه ای و جاده ای خاکی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت. بار وارد بر لاستیک بوسیله قراردادن وزنه هایی بر روی طرفین شاسی حامل لاستیک تأمین گردید. خاک در رطوبت ۱۰ درصد توسط واحد آماده کننده خاک در یک مخزن خاکی با خاک لومی-شنی و با دو بار عبور غلتک تهیه شد. سپس سه خط اثر لاستیک بطور عرضی در طول مخزن به فواصل مساوی که فشردگی هر کدام بر دیگری اثر نداشته باشد، با سه فشار باد و تحت اثر دو بار ذکر شده فوق ایجاد شد



شکل ۱- حسگر نیمرخ فشردگی خاک (راست) و لاستیک سخت (چپ)
Fig.1. Soil compaction profile sensor (right) and stiff tyre (left)



شکل ۲- نمونه ای از خط اثرهای ایجاد شده توسط لاستیک سخت در سه فشار باد و یک بار ثابت ۶/۳ کیلو نیوتن
Fig.2. Track lines created by stiff tyre at three inflation pressures and load of 6.3 kN

شده. همچنین از دستگاه فرسوخ عمودی (پترومتر)

برای اندازه گیری عرض و عمق اثر لاستیک از خط کش استفاده

است. اما تأثیر فشار باد لاستیک در عرض اثر لاستیک معنی دار نبوده، در حالیکه این تأثیر در عمق اثر لاستیک در سطح ۱٪ معنی دار است. با تغییر مقدار فشار باد لاستیک در سه مقدار ۳۲۴، ۵۲۴ و ۷۲۴ کیلوپاسکال، اختلافی در عرض اثر لاستیک به وجود نمی آید در حالیکه عمق فشرده شدن خاک در هر سه فشار باد فوق دارای اختلاف معنی دار است. در تحقیق دیگری نتایج مشابهی در خصوص تأثیر تردد های مختلف بر عمق اثر لاستیک بدست آمده است. البته تأثیر متقابل بار و فشار باد لاستیک نیز در عرض اثر لاستیک اختلاف معنی دار نداشت ولی این تأثیر در عمق اثر لاستیک در سطح ۵٪ معنی دار گردید که می توان گفت به همان تأثیر بار ارتباط دارد (Botta et al., 2009). شاخص مخروط در بارها و مقادیر مختلف فشار باد در هر چهار دامنه عمق ذکر شده در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی دار است. بطوریکه این میزان تأثیر تا عمق ۴۰ سانتی متری ملاحظه می گردد. تأثیر متقابل بار و فشار باد بر شاخص مخروط خاک نیز در عمق های ذکر شده در سطح ۵٪ معنی دار است.

(ASAE Standard S3133, 2003) برای اندازه گیری شاخص مخروط خاک تا عمق ۴۰ سانتی متری استفاده گردید. میانگین مقادیر شاخص مخروط خاک در عمق های ۰ تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر محاسبه و در تجزیه و تحلیل در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس اثر بار و فشار باد لاستیک بر عرض و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک در جدول ۱ ارائه شده است. از عوامل مؤثر و مهم در فشرده گی خاک که توسط یک لاستیک به وجود می آید عرض و عمق اثر لاستیک است. بطوریکه در جدول ۱ ملاحظه می گردد، تأثیر بار عمودی وارده بر لاستیک بر عرض و عمق اثر لاستیک، هر دو در سطح ۱٪ معنی دار است. این بدین خاطر است که مهم ترین عامل ایجاد فشرده گی در خاک وجود بار عمودی وارد بر لاستیک است. نتایج تحقیقات (Keller and Arvidson, 2007; Arvidson and Keller, 2004) هم بیانگر همین موضوع

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر بار و فشار باد لاستیک بر عرض اثر لاستیک، عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک

Table 1- Analysis of variance of the effect of load and inflation pressure of tyre on the rut width and depth, and CI

میانگین مربعات (MS)							
شاخص مخروط Cone Index (30-40 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (20-30 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (10-20 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (0-10 cm) (MPa)	عمق اثر لاستیک Rut Depth (mm)	عرض اثر لاستیک Rut Width (mm)	درجه آزادی Degree of Freedom	منابع تغییرات Source of Variations
0.37 **	0.42 **	0.43 **	**0.118	839.60 **	3355.56 **	5	فاکتور
0.70 **	0.80 **	0.95 **	0.247 **	3362.0 **	13230.22 **	1	بار
0.5 **	0.65 **	0.60 **	0.170 **	**414.50	800.22 ns	2	فشار باد Inflation Pressure
0.00056 ns	0.0033 *	0.0068 ns	0.0017 *	**3.50	973.56 ns	2	بار × فشار باد Load × Inflation Pressure
0.00092	0.00076	0.0033	0.00037	0.50	330.22	12	خطا Error

ns و ** و * به ترتیب عبارتند از: معنی دار در سطح ۵٪، معنی دار در سطح ۱٪، عدم اختلاف معنی دار

افقی در عمق های پایین تر خاک معنی دار نشده است، اما در عمق بالای خاک ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر معنی دار شده است. مهمترین عامل در ایجاد فشرده گی در لایه های پایین خاک وجود بار عمودی لاستیک است و فشار باد تنها بر عمق های سطحی تأثیر گذار است که این موضوع با توجه به نتایج بدست آمده و معنی دار شدن تأثیر بار بر نیروی افقی در عمق های پایین تر تأیید می گردد. نتایج کارهای دیگران هم این مطلب را تأیید می نماید. (Arvidson and Keller, 2007; Mohsenimansh and Ward, 2007)

جدول ۲ تجزیه واریانس اثر مقادیر بار و فشار باد لاستیک بر نیروی افقی را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می گردد تأثیر بار در عمق صفر تا ده سانتی متر معنی دار نبوده در حالیکه این تأثیر در عمق ده تا سی سانتی متر و در سطح ۱٪ معنی دار و در عمق سی تا چهل سانتی متر در سطح ۵٪ معنی دار گردیده است. بطور کلی تأثیر بار از عمق ۱۰ تا ۴۰ سانتی متری بر نیروی افقی لایه های مختلف خاک معنی دار بوده که در عمق های ۱۰ تا ۳۰ سانتی متر تأثیر آن بیشتر از عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی متری است. تأثیر فشار باد بر نیروی

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مقادیر بار و فشار باد لاستیک بر نیروی افقی

Table 2- Analysis of variance of the effect of tyre load and inflation pressure on the horizontal force

میانگین مربعات (MS)				درجه آزادی Degree of Freedom	منابع تغییرات Source of Variations
نیروی افقی Horizontal Force (30-40 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (20-30 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (10-20 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (0-10 cm) (N)		
2151.6 ns	1299.8*	598.8*	19.8 ns	5	فاکتور
10278.4*	6223.6**	1980.7**	33.4 ns	1	بار
88.5 ns	860.1 ns	297.1*	24.0 ns	2	فشار باد Inflation Pressure
151.3 ns	45.2 ns	209.6 ns	8.6 ns	2	بار × فشار باد Load × Inflation Pressure
1468/1	393/9	76/2	9/1	12	خطا Error

ns و **، * به ترتیب عبارتند از: معنی دار در سطح 5٪، معنی دار در سطح 1٪، عدم اختلاف معنی دار

نگرفته اند و دارای اختلاف معنی دار هستند. مقدار عمق اثر لاستیک با افزایش میزان بار و فشار باد، افزایش پیدا کرده است. این حالت نیز برای شاخص مخروط خاک برای کلیه بارهای وارد به لاستیک و فشار بادهای مختلف صادق بوده و میانگینهای آن دارای اختلاف معنی دار هستند. بطوریکه مقدار شاخص مخروط خاک با افزایش بار و فشار باد لاستیک افزایش یافته است. Eliason (2005) نیز تنها نتیجه گرفت که در عمق صفر تا ده سانتی متری خاک مقادیر شاخص مخروط خاک معنی دار نگردید. این عدم اختلاف معنی دار می تواند بدلیل وجود بار محوری و تأثیر کمتر آن در عمق های سطحی خاک نسبت به پایینی خاک بوده که در نتیجه باعث شده است مقادیر شاخص مخروط خاک که بیانگر مقاومت مکانیکی خاک است معنی دار نگردد.

جدول ۳ تأثیر میزان بار و فشار باد لاستیک بر میانگین مقادیر عرض و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک در عمق های مختلف را نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می گردد، عرض اثر لاستیک در دو بار عمودی ۶/۴ و ۲۳/۹ کیلونیوتن در یک گروه معنی داری قرار نگرفته و این در حالی است که در فشار بادهای ۳۲۴ و ۵۲۴ کیلو پاسکال، این مقدار عرض اثر لاستیک در گروه معنی داری قرار گرفته است و اختلاف معنی داری پیدا نکرده اند. با افزایش مقدار بار، عرض اثر لاستیک افزایش و با افزایش میزان فشار باد این مقدار کاهش یافته است. میانگین عمق اثر لاستیک در دو نوع بار دارای اختلاف معنی دار و در دو گروه مختلف a و b قرار دارند. در صورتیکه سه نوع فشار باد لاستیک نیز در یک گروه معنی دار قرار

جدول ۳- مقایسه میانگین مقادیر عرض و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک در عمق های مختلف در میزان بار و فشار باد های مختلف لاستیک

Table 3- Mean comparison of rut width, rut depth and cone index at different depths at different tyre loads and infation pressures

شاخص مخروط Cone Index (30-40 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (20-30 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (10-20 cm) (MPa)	شاخص مخروط Cone Index (0-10 cm) (MPa)	عمق اثر لاستیک Rut Depth (mm)	عرض اثر لاستیک Rut Width (mm)	عامل آزمایش Experiment Factor
2.38 ^b	2.66 ^b	2.51 ^b	1.31 ^b	32 ^b	393 ^b	میزان بار
2.78 ^a	3.08 ^a	2.98 ^a	1.52 ^a	59 ^a	448 ^a	Load (kN)
2.25 ^c	2.51 ^c	2.40 ^b	1.25 ^c	38 ^c	431 ^a	فشار باد
2.64 ^b	2.94 ^b	2.84 ^c	1.46 ^b	45 ^b	422 ^a	Infaltion Pressure
2.85 ^a	3.15 ^a	3.00 ^a	1.59 ^a	55 ^a	408 ^a	724 (kPa)

برای هر عامل آزمایش، میانگین ها در هر ستون با حروف انگلیسی مشابه، با هم اختلاف معنی داری ندارند.

مختلف خاک در میزان بار و فشار بادهای مختلف لاستیک را نشان

جدول ۴ مقایسه میانگین مقادیر نیروی افقی در عمق های

بیشترین تأثیر را در فشردگی خاک در لایه‌های زیرین نسبت به لایه‌های سطحی خاک دارد. در صورتیکه مقدار فشار باد در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر بیشترین تأثیر را گذاشته است و در دیگر لایه‌های خاک تأثیر معنی داری نداشته است. برخی از تحقیقات انجام شده نیز مبین همین مطلب می‌باشند (Keller and Arvidson, 2004; Raper *et al.*, 1995; Reaves and Cooper, 1960)

می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، تأثیر میزان بار در عمق صفر تا ۱۰ سانتی متر معنی دار نبوده ولی در عمق‌های ۱۰ تا ۴۰ سانتی متر، اختلاف معنی دار شده است. به هر حال در لایه‌های پایین خاک اثر بار لاستیک چشمگیرتر از اثر فشار باد لاستیک است و این در حالی است که اثر فشار باد لاستیک در لایه‌های سطحی خاک مشهود می‌باشد. این موضوع نیز مورد انتظار بود که میزان بار

جدول ۴- مقایسه میانگین مقادیر نیروی افقی در عمق‌های مختلف خاک در میزان بار و فشار باد‌های مختلف لاستیک

Table 4- Mean comparison of horizontal force values at different tyre load and inflation pressures

نیروی افقی Horizontal Force (30-40 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (20-30 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (10-20 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (0-10 cm) (N)	عامل آزمایش Experiment Factor
347.1 ^b	233.5 ^b	67.4 ^b	14.8 ^a	میزان بار Load
394.9 ^a	270.7 ^a	88.3 ^a	17.5 ^a	23.9 (کیلو نیوتن)
^a 367.0	248.5 ^a	70.9 ^b	14.9 ^a	324 فشار باد
371.5 ^a	251.8 ^a	77.7 ^{ab}	15.0 ^a	524 Inflation Pressure
374.6 ^a	256.0 ^a	85 ^a	18.4 ^a	724 (کیلو پاسکال)

برای هر عامل آزمایش، میانگین‌ها با حروف انگلیسی مشابه، با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

بزرگتر از اثر آن در عمق‌های ۴۰-۱۰ سانتی متر به ویژه در حالت بار ۲۳/۹ کیلونیوتن و فشار باد ۷۲۴ کیلو پاسکال است. این نتیجه مشابه نتایج تحقیقات دیگران است (Chancellor, 1975; Sohne, 1958; Mohsenomanesh, 2007 and 2010) که دلیل آن وجود تمرکز تنش در لایه‌های سطحی خاک زیر لاستیک است که بیش از مقدار آن در لایه‌های پایین تر می‌باشد.

در جدول ۵ ملاحظه می‌گردد که اثر متقابل بار و فشار باد لاستیک، تنها تأثیر معنی دار خود را در عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک نشان داده است. در جدول ۶ تأثیر متقابل بار و فشار باد بر مقدار نیروی افقی لازم برای تغییر شکل خاک فقط در بار ۲۳/۹ کیلو نیوتن و در عمق ۲۰-۱۰ سانتی متری خاک قابل رؤیت است. این تفاوت بین فشار بادهای ۳۲۴ و ۷۲۴ کیلو پاسکال بخوبی مشخص است. بطور کلی اثر بار و فشار باد بر نیمرخ خاک در عمق‌های ۱۰-۰ سانتی متر، نزدیک سطح خاک و زیر لاستیک،

جدول ۵- مقایسه اثر متقابل بار و فشار باد بر میانگین مقادیر عرض و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک در اعماق مختلف

Table 5- Comparison of interaction effects of load and inflation pressure on the mean of rut width, rut depth and CI at different depths of soil

شاخص مخروط شاخص مخروط شاخص مخروط شاخص مخروط				عرض اثر لاستیک عمق اثر لاستیک		نوع تیمار Treatment	میزان بار Load
Cone Index (30-40 cm) (MPa)	Cone Index (20-30 cm) (MPa)	Cone Index (10-20 cm) (MPa)	Cone Index (0-10 cm) (MPa)	Rut Depth (mm)	Rut Width (mm)	فشار باد Inflation Pressure (kPa)	Load (kN)
2.04 ^c	2.28 ^c	2.20 ^c	1.14 ^c	^c 25	413 ^a	324	6.4
2.45 ^b	2.75 ^b	2.61 ^b	1.36 ^b	31 ^b	400 ^a	524	
2.64 ^a	2.95 ^a	2.74 ^a	1.45 ^a	^a 40	367 ^a	724	
2.45 ^c	2.74 ^c	2.60 ^a	1.37 ^c	51 ^c	449 ^a	324	23.9
2.82 ^b	3.13 ^b	3.06 ^c	1.56 ^b	^b 58	443 ^a	524	
3.05 ^a	3.37 ^a	3.27 ^b	1.72 ^a	^a 69	450 ^a	724	

اعداد با حروف انگلیسی مشابه در هر ستون، با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۶- مقایسه اثرات متقابل بار و فشار باد بر میانگین مقادیر نیروی افقی وارد بر خاک در اعماق مختلف

Table 6- Comparison of interaction effects of load and inflation pressure on the mean of horizontal force values at different depths of soil

نیروی افقی Horizontal Force (30-40 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (20-30 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (10-20 cm) (N)	نیروی افقی Horizontal Force (0-10 cm) (N)	نوع تیمار Treatment		
				فشار باد Inflation Pressure (kPa)	میزان بار Load (kN)	
344.4 ^a	228.2 ^a	63.0 ^a	12.5 ^a	324	6.4	
348.1 ^a	231.6 ^a	67.7 ^a	14.9 ^a	524		
348.9 ^a	240.6 ^a	71.3 ^a	16.9 ^a	724		
401.1 ^a	268.7 ^a	78.8 ^b	17.4 ^a	324		23.9
385.1 ^a	271.5 ^a	84 ^{ab}	15.1 ^a	524		
398.5 ^a	271.9 ^a	102.2 ^a	20.0 ^a	724		

اعداد با حروف انگلیسی مشابه در هر ستون ، با هم اختلاف معنی داری ندارند .

بزرگتر از اثر آن در عمق‌های پایینی خاک بود. بین سه فشار باد ۳۲۴، ۵۲۴ و ۷۲۴ کیلو پاسکال در بارهای عمودی ۶/۳ و ۲۳/۹ کیلونیوتن هنگام استفاده از لاستیک سخت در عمق‌های سطحی تفاوت معنی داری وجود داشت. با افزایش میزان بار، مقادیر عرض اثر لاستیک، عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط هر سه افزایش داشتند. هم چنین با افزایش مقدار فشار باد، مقدار عرض اثر لاستیک کاهش و عمق اثر لاستیک و شاخص مخروط خاک افزایش یافتند. بطور کلی می توان گفت که فشردگی خاک حاصل از بارها و فشار بادهای مختلف در این لاستیک توسط شاخص مخروط بخوبی تشخیص داده شد.

نتیجه گیری

اثر بار و فشار باد یک لاستیک سخت رادیال (18R, 22.5XL, 20PR) بر فشردگی یک خاک لومی- شنی در مخزن خاک در دو بار عمودی و سه فشار باد لاستیک بررسی گردید. نتایج نشان داد که میزان بار بیشترین تاثیر را در فشردگی خاک در لایه های زیرین نسبت به لایه های سطحی خاک دارد. در صورتیکه اثر فشار باد لاستیک در عمق‌های سطحی در بارهای ۶/۳ و ۲۳/۹ کیلونیوتن

منابع

1. Ansorge, D., and R. J. Godwin. 2007. The effect of tyres and a rubber track at high taxle loads on soil compaction, part 1: Single axle-studies. Biosystems Engineering, 98 (1): 115-126.
2. Ansorge, D., and R. J. Godwin. 2008. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction, part 1: Multi axle machine studies. Biosystems Engineering, 99 (3): 338-347.
3. Arvidson, A., and T. Keller. 2007. Soil stress as affected by wheel load and tyre inflation pressure. Soil and Tillage Research, 96: 284-291.
4. Botta, G. F., A. Tolon Becerra., and F. Bellora Tourn. 2009. Effect of the number of tractor passes on soil rut depth and compaction in two tillage regimes. Soil and Tillage Research, 103: 381-386.
5. ASAE Standard S3133. 2003. Soil cone penetrometer, Revised Feb 04, St. Joseph, MI: ASAE.
6. Chancellor, W. J. 1975. Compaction of soil by agricultural equipment. University of California, 53 p.
7. Eliasson, L. 2005. Effect of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. Silva Fennica, 39 (4): 549-557.
8. Keller, T., and J. Arvidsson. 2004. Technical solution to reduce the risk of subsoil compaction: effects of dual wheels, tandem wheels and tyre inflation pressure on stress propagation in soil. Soil and Tillage Research, 79 (2): 191-205.
9. McDonald, T., T. Way., B. Lofgren, and F. Seixas. 1996. Load and inflation pressure effects on soil compaction of forwarder tires. In: Proceedings of the Joint Conference of Canadian Woodlands Forum, Canadian Pulp and Paper Association and International Union of Forest Research Organizations. Quebec City, 6-8 September. 67-70.
10. McPhee, J. 2004. Soil compaction. Available from:

- <http://www.dpiwe.tas.gov.au/inter.nsf/WebPages/TTAR-5DSVB7?open>. Accessed 20 July 2009.
11. Mohsenimanesh, A., and S. M. Ward. 2007. On-the-move monitoring of soil-tire interaction on soft soil using wireless data acquisition. *Transaction of the ASAE* 50 (6): 1919-1925.
 12. Mohsenimanesh, A., and S. M. Ward. 2010. Estimation of a three-dimensional tyre footprint using dynamic soil–tyre contact pressures. *Journal of Terramechanics* 47: 415-421.
 13. Plackett, C. W. 1984. The ground pressure of some agricultural tyres at low load and with zero sinkage. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 29: 159-166.
 14. Raper, R. L., A. C. Bailey, E. C. Burt, T. R. Way, and P. Liberati. 1995. Inflation pressure and dynamic load effects on soil deformation and soil-tire interface stresses. *Transactions of the ASAE*, 38 (3): 685-689.
 15. Reaves, C. A. and A. W. Cooper. 1960. Stress distribution in soils under tractor loads. *Agricultural Engineering*, 41 (31): 20-21.
 16. Sharifi, A., R. J. Godwin, M. J. O'Dogherty, and M. L. Dresser. 2007. Evaluating the performance of a soil compaction sensor. *Soil Use and Management* 23: 171-177.
 17. Schjønning, P. M. Lamande., F. A. Tøgersen, J. Arvidsson., and T. Keller. 2008. Modeling effects of tyre inflation pressure on the stress distribution near the soil-tyre interface. *Biosystems Engineering*, 99 (1): 119-133.
 18. Schjønning, P. and M. Lamande. 2010. A note on the vertical stresses near the soil-tyre interface. *Soil and Tillage Research*, 108 (1-2): 77-82.
 19. Smith, D. L. O., and J. W. Dickson. 1990. Contribution of vehicle and ground pressure to soil compaction. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 46: 13-29.
 20. Sohne, W. H. 1958. Fundamental of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. *Agricultural Engineering*, 39: 276-281.

سامانه بینایی کامپیوتر جهت برداشت خودکار گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در شرایط نور طبیعی

حسینی محمدی منور^{۱*} - رضا علیمردانی^۲ - محمود امید^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۱۶

چکیده

بیش از دو دهه است که بخش کشاورزی استفاده از سامانه‌های خودکار را تجربه می‌کند. از موارد کاربرد این سامانه‌ها در کشاورزی می‌توان به برداشت میوه اشاره نمود. بینایی کامپیوتر یکی از پرکاربردترین فن‌آوری‌های مورد استفاده در صنایع غذایی و کشاورزی نوین است. در مقاله حاضر سیستمی خودکار مبتنی بر بینایی کامپیوتر جهت برداشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای ارائه می‌شود. دوربین CCD به عنوان حس‌گر بینایی از فضای کاری عکس می‌گیرد و گوجه‌ها با رسیدگی بالای ۵۰ درصد توسط پردازش تصاویر شناسایی می‌شوند. در این پژوهش از سه فضای رنگی RGB، HSI و YCbCr و سه الگوریتم آستانه‌یابی، انحنای سطح تصویر و رابطه قرمز/سبز جهت تشخیص گوجه‌فرنگی‌های رسیده از زمینه و تحت شرایط نور طبیعی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد متوسط خطای الگوریتم‌های آستانه‌یابی، رابطه قرمز/سبز و انحنای سطح تصویر به ترتیب ۱۱/۸۲، ۱۰/۰۳ و ۷/۹۵ درصد در سه فضای رنگی RGB، HSI و YCbCr بود. فضای رنگی YCbCr و الگوریتم انحنای سطح تصویر در تمایز گوجه‌فرنگی رسیده از زمینه و در شرایط نور طبیعی، موفق‌تر عمل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بینایی کامپیوتر، فضای رنگی RGB، HSI و YCbCr، گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، نور طبیعی

مقدمه

فناوری رباتیک برای بسیاری از مواد زیستی^۴ در جهان بکار برده شده است. در یک سامانه تمام خودکار، دسته‌های نهال گل از یک طرف وارد می‌شود و سپس یک ربات نهال‌ها را تک تک برداشته و بر روی یک نوار نقاله قرار می‌دهد (Ting *et al.*, 1990). استفاده از بازوهای مکانیکی ماهر در برداشت محصولات کشاورزی نیز کاربرد زیادی دارد. یکی از این کاربردها در برداشت خودکار گل Phalaneosis می‌باشد. از آنجا که این گیاه بسیار حساس بوده و انتقال دستی نشا آن فارغ از آسیب‌های فیزیکی سبب آلودگی و بیماری گیاه می‌شود، انتقال نشاها به محل کشت توسط ربات انجام می‌شود (Huang and Fang-Fan, 2010). بازوی خودکار برداشت گل رز نمونه‌ای دیگر می‌باشد. این بازو مجهز به دو دوربین جهت تصویربرداری سه بعدی است (Kohan, 2011). ربات برداشت گل ژربرا که مجهز به دوربین برای شناسایی محل برش گل می‌باشد، نمونه دیگری از برداشت خودکار گل است (Rath and Kawollek, 2009). همچنین برداشت توت‌فرنگی کاری سخت و طاقت فرساست و می‌بایست در چند نوبت انجام شود، لذا برداشت رباتیکی آن مقرون به صرفه می‌باشد. بازوی رباتیکی برداشت توت‌فرنگی مجهز به واحد بینایی شامل سه دوربین و پنج منبع نور می‌باشد (Hayashi *et al.*, 2010). در این مقاله،

امروزه در بسیاری از فعالیت‌های صنعتی استفاده از نیروی انسانی جای خود را به نیروی مکانیکی و در بسیاری از موارد به نیروی مکانیکی ماهر یا ربات‌ها واگذار نموده است. بخش کشاورزی نیز همچون بخش صنعت نیاز مبرمی در بکارگیری سامانه‌های خودکار دارد. در کشورهای پیشرفته چند دهه است که فعالیت در زمینه اتوماسیون بخش مذکور آغاز شده است. در این میان استفاده از سامانه‌های خودکار برای برداشت میوه از اهمیت زیادی برخوردار است. از آنجا که آسیب مکانیکی به بازارپسندی میوه ضربه می‌زند، لذا سامانه خودکار می‌بایست بدون صدمه به میوه و شاخه، محصول را برداشت نماید.

استفاده از رباتیک در بخش‌های مختلف کشاورزی به دو دهه قبل بر می‌گردد که در آن زمان مطالعه بر روی ربات برداشت کننده گوجه‌فرنگی در ژاپن آغاز گردید (Monta, 2000). از آن زمان به بعد

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادان دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج
* - نویسنده مسئول: (Email: mohamadi_085@ut.ac.ir)

هم متناسب شوند، بنابراین روابط دیفرانسیلی برای تغییر مکان‌های مفصل و مکان پنجه استخراج می‌شود (Asada and Aslutayn, 1997).

طراحی مدار الکتریکی و سامانه کنترل

برای کنترل پنجه ربات گوجه‌چین به مدار الکترونیکی نیاز است. برای کنترل حرکات انگشتی‌ها (دوران موتورها)، حس‌گرها و قطع و وصل شیرهای نیوماتیک این مدار استفاده از دو میکروکنترلر AVR مدل ATmega32 پیشنهاد می‌شود. برای کنترل سرعت موتور و همچنین تغییر گردش آن‌ها از IC (L298N) استفاده می‌شود. میکروکنترلرها توسط پروگرامر STK200 و زبان IAR که کامپایلر آن C است، برنامه‌ریزی شدند (Rahafrooz, 2006).

طراحی مدار نیوماتیک

یکی از قسمت‌های پنجه طراحی شده واحد نیوماتیک است که قبل از انگشتی‌ها وارد عمل می‌شود و گوجه شناسایی شده را با عمل مکش جذب می‌کند و بعد از اعمال گشتاور توسط انگشتی‌ها و جدا شدن میوه از ساقه این واحد گوجه را به مخزن منتقل می‌کند. اجزای در نظر گرفته شده برای مدار نیوماتیک عبارتند از: سیلندر نیوماتیک، شیر سولونوئیدی، وکیوم ساز، کلاهیک مکش و شیر کنترل دبی (http://www.Festo.com) (http://www.Waircom.com) (شکل ۲).

تشخیص گوجه رسیده با پردازش تصویر

سامانه بینایی شامل رایانه شخصی و یک ریز پردازنده^۳ و حس‌گر بینایی بود. تصاویر در گلخانه با دوربین CCD رنگی با حداکثر 1536×2048 پیکسل مجاز (مدل GA4162PF، ساخت کره جنوبی)، به‌دست آمد. واسنجی^۴ دوربین به عنوان گام اول جهت افزایش دقت سامانه انجام شد. واسنجی بر روی یک شی سه بعدی که دارای صفحات متعامد بر یکدیگر است (نظیر یک جعبه که دارای مربع‌های کوچک همانند صفحه شطرنجی بر روی وجوه خود است) انجام شد (Turcco and Verri, 1998). در واسنجی، پارامترهای داخلی دوربین نظیر فاصله کانونی، ضریب اعوجاج و ضریب مقیاس به‌منظور تصحیح تصاویر برداشت شده از محصول بررسی گردید. با هدف ایجاد شرایط یکسان نور، همه تصاویر در ساعات ۱۰ تا ۱۱ صبح ضبط شد. تصاویر از فاصله حدود ۱۳۵ سانتی‌متری به‌دست آمد و از هر نمونه سه تصویر گرفته شد.

استفاده از سه الگوریتم پردازش تصویر برای جداسازی میوه‌ها بر اساس رنگ از زمینه مطالعه شد. نتایج حاکی از آن بود که این روش‌ها برای میوه‌هایی مانند سیب، گوجه، توت‌فرنگی و پرتقال موفق عمل می‌کند (Jian-jun et al., 2009). استفاده از سامانه بینایی کامپیوتر در ربات‌های برداشت محصولاتی مانند سیب (Tabb et al., 2006)، گوجه گیلاسی (Tanigaki et al., 2006) و پرتقال (Hannan and Burks, 2004) گزارش شده است. تشخیص بافت سبز رنگ سیب‌زمینی نیز توسط روش پردازش تصاویر بر اساس رنگ انجام شد و میزان خطا در تشخیص آن ۵/۲۶ درصد اعلام شد (Ebrahimi et al., 2011).

گوجه یکی از محصولات مهم باغی در کشور ایران است. بنابر گزارش وزارت کشاورزی (Anonymous, 2010) میزان برداشت آن ۱۸/۵ میلیون تن در سال ۸۹ اعلام شده است. علاوه بر بررسی گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای نوع خاصی از گوجه‌فرنگی گیلاسی نیز مطالعه شد که از نظر شکل بسیار شبیه انواع مارتینو روما^۱ و سن مارزانو^۲ می‌باشد که در ایتالیا و اسپانیا برای تولیداتی نظیر سس و رب کاربرد دارد (شکل ۱).

طرح اولیه پژوهش حاضر از چهار بخش اصلی تشکیل شده است. بخش اول شامل طراحی بخش مکانیکی یک پنجه مناسب به منظور گرفتن و رهاکردن گوجه می‌باشد. بخش دوم شامل طراحی مدار الکترونیکی مکانیزم و بخش سوم مدار نیوماتیک می‌باشد و بخش آخر به پردازش تصاویر جهت شناسایی محصول بر اساس رنگ می‌پردازد. در این مقاله به بخش پردازش تصویر که به صورت عملی انجام شده است به‌صورت مبسوط می‌پردازیم و به سایر بخش‌ها اشاره خواهیم داشت. در شناسایی میوه در شرایط نور طبیعی معمولاً تغییر میزان نور و زاویه تابش آن فاکتورهای مهمی هستند. با انتخاب الگوریتم مناسب پردازش تصویر می‌توان اثر این تغییرات را کاهش داد. از طرف دیگر ناحیه قابل مشاهده میوه به علت قرار گرفتن در سایه شاخه و برگ گیاه متغیر است و تشخیص بر اساس شکل میوه دشوار است، لذا فاکتور رنگ لحاظ گردید.

مواد و روش‌ها

طراحی مکانیکی

در ابتدا با استفاده از روش دناویت هارتنبرگ موقعیت و جهت پنجه به عنوان تابعی از تغییر مکان مفاصل بیان می‌شود که این کار با حل معادله سینماتیک میسر می‌شود. پس از دسترسی به موقعیت نهایی پنجه برای اینکه بتوان پنجه را در جهت‌های معین و با سرعت‌های مشخص کنترل نمود لازم است که حرکت مفاصل با

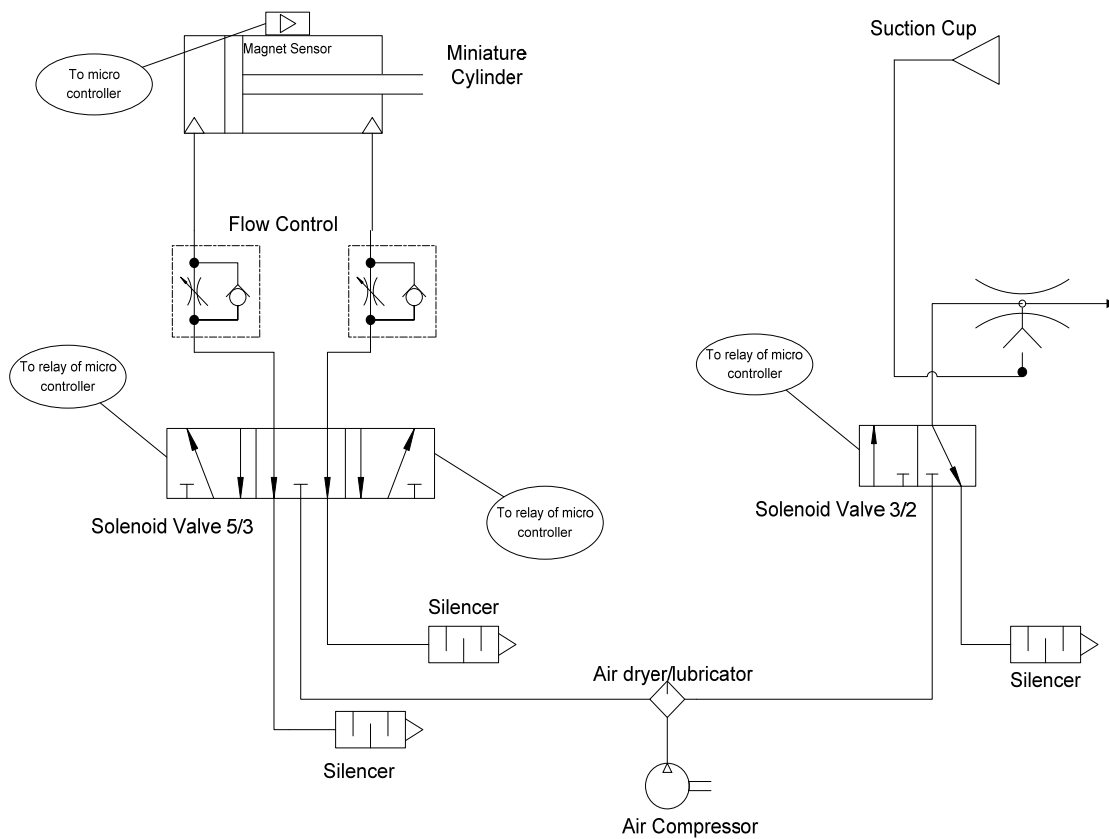
3- Microprocessor
4- Calibration

1- Martino's Roma
2- San Marzano



شکل ۱- شباهت گوجه گیلاسی (الف) ایرانی با انواع (ب) مارتینو روما و (ث) سن مارزانو

Fig.1. Similarity between cherry-tomato (a) Iranian Type with (b) Martino's Roma and (c) San Marino



شکل ۲- نمودار شماتیک مدار نیوماتیک

Fig.2. Schematic diagram of Pneumatic circuit

خواهد شد. دوربین پس از تصویربرداری اولیه دوباره واسنجی شد و سپس از فاصله ۵۵ سانتی‌متری بوته تصویربرداری انجام گردید. از فضاهای رنگی RGB^1 ، HSI^2 و $YCbCr$ برای تشخیص گوجه (با قرمزی بالاتر از ۵۰ درصد) در میان شاخ و برگ استفاده شد. تبدیل

این سه تصویر در سه موقعیت، قبل از رسیدن دوربین به بوته، وقتی دوربین مقابل بوته قرار گرفت و بعد از عبور از آن ثبت شد. در هر یک از تصاویر، تمام گوجه‌های موجود در میدان دید دوربین شمارش شدند. گوجه‌ها با قرمزی بالاتر از ۵۰ درصد در تصاویر پردازش شده به عنوان هدف مشخص می‌شدند تا در مرحله بعد در فاصله ۵۵ سانتی‌متری از گوجه رسیده تصویر تهیه شود. در تصویر دوم محل اتصال ساقه به محصول جهت برداشت خودکار مشخص

1- Red-Green-Blue
2- Hue-Saturity-Intensity

خاکستری بر اساس الگوریتم اتسو^۶ (Otsu, 1979) در باند قرمز انجام شد. این الگوریتم سرعت کافی جهت اجرا در زمان و شرایط واقعی را دارد.

الگوریتم انحنای سطح تصویر: این روش نه تنها مستقل از میزان نور است بلکه تحت تأثیر رنگ در شرایط نوری یکسان قرار نمی‌گیرد. به کمک این ویژگی می‌توان گوجه‌های سبز (نارس) در تصویر را شناسایی نمود. این الگوریتم تصویر را به عنوان یک سطح $Z=Z(x,y)$ در نظر می‌گیرد، که در آن Z سطح خاکستری پیکسل (x,y) است. در این سطح گوجه یک برش عمودی در صفحه (x,y) ایجاد می‌کند. یکی از راه‌های تشخیص پیکسل‌های متعلق به هدف (در اینجا گوجه با قرمزی بیشتر از ۵۰ درصد) در این الگوریتم روش تشخیص لبه می‌باشد. تصویر خروجی این الگوریتم بر اساس معادله (۶) بیان می‌شود.

$$R(x,y) = \frac{\partial^2 [G(x) * I(x,y)]}{\partial x^2} \quad (6)$$

که در آن $I(x,y)$ تصویر دو بعدی سطح خاکستری و * عملگر کانولوشن می‌باشد.

الگوریتم رابطه قرمز / سبز: این الگوریتم تصاویر را هم‌زمان در دو باند قرمز / سبز فیلتر می‌کند. این تصاویر از قبل تحت فیلتر گاوسی پایین گذر قرار گرفته‌اند تا میزان نویز ناشی از سایه و بازتاب نور از سطح برگ و میوه کاهش یابد. فیلتر گاوسی مورد استفاده ماتریسی با انحراف معیار ۲۰۰ بود که فرکانس تصاویر را تا کمتر از ۲۰۰ مگاهرتز محدود نمود. معادله سطح خاکستری تصاویر در الگوریتم رابطه قرمز / سبز به صورت معادله (۷) به دست می‌آید.

$$I(x,y) = \sum_{y=k}^{y+v} \sum_{x=i}^{x-u} I(k,i)G(x-i,y-k) \quad (7)$$

که در آن $I(x,y)$ سطح خاکستری پیکسل (x,y) می‌باشد و

$$G(x,y) = e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\pi\sigma^2}} \quad (8)$$

در این الگوریتم طبقه‌بندی به صورت پیکسل به پیکسل انجام شد. پیکسلی متعلق به گوجه‌فرنگی می‌باشد که متناسب با رابطه (۹) باشد.

$$RG_{ratio} = \frac{r}{\alpha g} = F \mp E \quad (9)$$

که در آن r سطح خاکستری در تصویر قرمز رنگ است، g همین مقدار در تصویر سبز و $\alpha = 1.155$ ضریب تصحیح است. F فاکتور تناسب بین r و g برای میوه و E میزان خطا می‌باشد. این روش برای انجام این تقسیم‌بندی مستقل از بازتاب نور طراحی شده است.

فضاهای رنگی در نرم‌افزار متلب^۱ (ورژن ۷.۴) صورت گرفت. دوربین تصاویر را در فضای RGB ثبت نمود. تصاویر اولیه شامل پس زمینه است که لازم است حذف شوند. به عمل حذف پس زمینه از تصویر آشکارسازی^۲ گفته می‌شود. در اینجا آشکارسازی بر اساس تفاوت رنگ گوجه از پس زمینه انجام شد. جهت افزایش حساسیت تشخیص رنگ میوه و حذف عوامل ناخواسته نظیر نویزهای ناشی از تغییرات نور و سایه برگ‌ها بر روی محصول از تبدیل فضاهای رنگی YCbCr و HSI استفاده شد. هنگامی که آشکارسازی تصویر بر اساس رنگ است، اما مقادیر رنگی در فضای RGB معیار مناسبی برای آشکارسازی نیست، در فضای رنگی YCbCr، آشکارسازی به سادگی قابل انجام است. از طرف دیگر خاصیت فشرده‌سازی تصویر را دارد و حجم تصویر آن تقریباً نصف تصویر مشابه در فضای RGB می‌باشد. در واقع با تغییر فضای رنگی تصویر از RGB به YCbCr و اعمال یک حد آستانه بر روی مقدار Cb پیکسل‌ها، ناحیه قرمز رنگ گوجه آشکارسازی می‌گردد. معادلات ۱ تا ۵ روابط تبدیل فضاهای رنگی را نشان می‌دهد.

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B < G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \quad (2)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{0.5[(R-G) + (R-B)]}{[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{1/2}} \right] \quad (3)$$

$$S - 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R,G,B)] \quad (4)$$

$$I = \frac{(R+G+B)}{3} \quad (5)$$

آزمایش‌ها در گلخانه گوجه‌فرنگی در شرایط نور طبیعی واقع در شهرک گلخانه‌ای هشتگرد استان البرز و در تابستان ۸۹ انجام شد. از ۲۸ بوته گوجه‌فرنگی تصویربرداری انجام و در سه فضای رنگی پردازش شد.

الگوریتم‌های مکان‌یابی میوه

در این مقاله، سه الگوریتم تقسیم‌بندی یعنی، آستانه‌یابی^۳، انحنای تصویر^۴ و رابطه قرمز / سبز^۵ به منظور تقسیم تصویر به دو دسته میوه و پس زمینه، مورد استفاده قرار گرفت. الگوریتم‌ها به منظور نشان‌دادن مرکز میوه، بر اساس محاسبات لبه بیرونی، مرز و مساحت، در سه فضای رنگی مورد استفاده قرار گرفتند.

الگوریتم آستانه‌یابی: تقسیم‌بندی با انتخاب سطح آستانه

- 1- Matlab
- 2- Detection
- 3- Thresholding
- 4- Curvature of the Image Surface
- 5- Red/Green Relation

ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها

ارزیابی عملکرد سه الگوریتم آستانه‌یابی، انحنا‌ی سطح تصویر و رابطه قرمز/ سبز در سه فضای رنگی طبق رابطه (۱۰) بررسی گردید.

$$\%e = \frac{|A - N|}{N} \times 100 \quad (10)$$

که در آن ϵ میزان خطا، N تعداد کل گوجه‌های موجود در هر تصویر و A تعداد گوجه‌هایی است که توسط این الگوریتم‌ها به‌طور صحیح تشخیص داده شده‌اند.

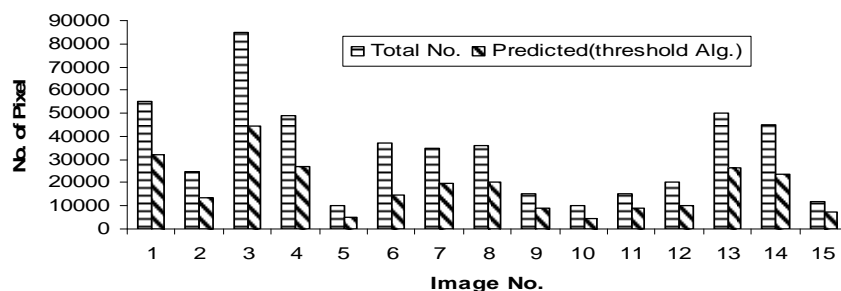
نتایج و بحث

با توجه به ارزیابی عملکرد الگوریتم متوسط خطای الگوریتم‌های آستانه‌یابی در فضای رنگی HSI، رابطه قرمز/ سبز در فضای رنگی RGB و انحنا‌ی تصویر در فضای رنگی YCbCr به‌ترتیب ۱۱/۸۲، ۱۰/۰۳ و ۷/۹۵ درصد بود. برای نمونه نتیجه بررسی عملکرد روش آستانه‌یابی در فضای رنگی HSI در شکل ۳ نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که این الگوریتم‌ها از دقت کافی برای کاربرد در ربات گوجه چین برخوردارند. میزان خطا در تشخیص بافت سبز رنگ در سیب‌زمینی در فضای رنگی RGB در مقایسه با مقدار واقعی ۵/۲۶ درصد گزارش شد (Ebrahimi et al., 2011). دقت بیشتر در تشخیص بافت سبز رنگ سیب‌زمینی نسبت به درصد رسیدگی گوجه‌فرنگی در این مقاله، به دلیل انجام آزمایشات بر روی سیب‌زمینی در شرایط نوری کنترل شده، می‌باشد. نتایج عملکرد سه الگوریتم از تصاویر پردازش شده محصول در جدول ۱ نشان داده شده است. بهترین نتایج، در الگوریتم انحنا و در فضای رنگی YCbCr (۹۳ درصد) و الگوریتم ارتباط قرمز / سبز در فضای رنگی RGB (۹۰ درصد) به‌دست آمد. میزان خطای الگوریتم آستانه‌یابی (فضای رنگی HSI) در تقسیم بندی ۲۵ درصد بود. تشخیص سیب بر روی درخت

در شرایط نور طبیعی توسط دو الگوریتم تشخیص لبه و الگوریتم تشخیص رنگ و شکل صورت گرفت (Lak et al., 2010). نتایج نشان داد الگوریتم تشخیص لبه موفق نیست، اما تشخیص سیب بر اساس رنگ و شکل دارای دقت ۸۳/۳ درصد بود. درصد گوجه تشخیص داده شده در الگوریتم‌های ارتباط قرمز / سبز و الگوریتم انحنا بیشتر از ۸۳/۳ درصد به‌دست آمد. علت آن را می‌توان به فضای کنترل شده گلخانه نسبت به باغ مرکبات و کاربرد فضای رنگی YCbCr بجای RGB مربوط دانست.

نتایج تقسیم‌بندی تصویر به دو بخش میوه و پس زمینه در فضاهای رنگی RGB و YCbCr در شکل ۴ نشان داده شده است. تصاویر (الف) و (ب) از فاصله ۱۳۵ سانتی‌متری تهیه شده‌اند و تنها گوجه‌ها با قرمزی بالاتر از ۵۰ درصد در آن شناسایی می‌شوند، پس از اطمینان از وجود گوجه رسیده در تصویر اولیه دوربین در فاصله نزدیک‌تری قرار می‌گیرد و تصویر نزدیک‌تر را با اعمال فیلتر سبز تهیه می‌کند تا محل اتصال میوه به ساقه برای برداشت مشخص شود (شکل ۴ ج و د). افزودن فیلتر سبز اگرچه باعث افزایش نویز در تصویر می‌شود ولی با توجه به داشتن مرکز مختصات گوجه‌های رسیده از تصویر اولیه می‌توان دمبرگ آن‌ها را شناسایی نمود. در جدول (۲) دقت سامانه بینایی در تشخیص دمبرگ بررسی گردید. از ۲۸ بوته مورد مطالعه پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شد. در این تصاویر تعداد گوجه‌ها با بیش از ۵۰ درصد قرمزی مشخص شده بودند و هدف، شناسایی محل اتصال آن‌ها به شاخه در تصویر نزدیک‌تر بود. در این مرحله دو نوع خطا مشاهده شد. اول، تشخیص اشتباه دمبرگ که به علت انبوه بودن برخی بوته‌ها اتفاق افتاد و دوم، عدم تشخیص دمبرگ بود که به علت عدم وجود نور کافی و وجود سایه سایر شاخ و برگ‌ها در محل اتصال گوجه به گیاه مشاهده شد.



شکل ۳- بررسی عملکرد الگوریتم آستانه‌یابی در شناسایی گوجه‌ها با ۵۰ درصد قرمزی و بیشتر

Fig.3. Performance evaluation of thresholding algorithm in detection of tomatoes above 50% ripeness

جدول ۱- نتایج تشخیص گوجه‌فرنگی از پس زمینه توسط الگوریتم‌های مکان‌یابی

Table 1- Result of recognizing tomatoes from background with fruit-tomato location algorithm

الگوریتم رابطه قرمز / سبز Red/Green Relation		الگوریتم انحناى تصویر Curvature of the Image Surface				الگوریتم آستانه‌یابی Thresholding			تعداد بوته‌ها Plant numbers
تشخیص نادرست (%) Incorrect detection (%)	تشخیص درست (%) Correct detection (%)	تشخیص داده شده (%) Detected fruits (%)	تشخیص نادرست (%) Incorrect detection (%)	تشخیص درست (%) Correct detection (%)	تعداد میوه تشخیص داده شده (%) Detected fruits (%)	تشخیص نادرست (%) Incorrect detection (%)	تشخیص درست (%) Correct detection (%)	تعداد میوه تشخیص داده شده (%) Detected fruits (%)	
16	84	63	4	96	45	25	75	64	1
2	98	93	6	94	51	26	74	89	2
9	91	69	22	78	45	24	76	65	3
10	90	78	7	93	54	25	75	77	دقت نهایی (%) Final accuracy (%)

جدول ۲- نتایج دقت سامانه بینایی در تشخیص دمبرگ گوجه‌فرنگی گیلاسی

Table 2- Result of vision system for detection of peduncle of cherry tomato

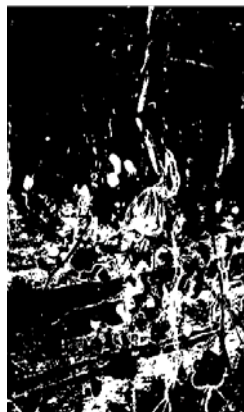
تعداد عدم تشخیص دمبرگ Not detected petiole	تعداد خطا در تشخیص دمبرگ Fault diagnosis of petiole	تعداد گوجه تشخیص داده شده با ۵۰ درصد قرمزی Detected tomato with 50% redness	شماره بوته (تصادفی) Plant Number (randomly)
0	1	2	1
1	0	3	4
1	2	6	13
0	1	3	19
0	0	1	27
13.3	26.7		درصد Percent



(د) (d)



(ث) (c)



(ب) (b)



(الف) (a)

شکل ۴- تشخیص گوجه‌فرنگی در تصویر: (الف) تصویر اولیه از فاصله ۱۳۵ سانتی‌متری، (ب) تصویر خاکستری فضای YCbCr از فاصله ۱۳۵ سانتی‌متری، (ث) تصویر اولیه از فاصله ۵۵ سانتی‌متری، (د) تصویر خاکستری فضای RGB از فاصله ۵۵ سانتی‌متری

Fig.4. Tomato detection in image: (a) Raw image from 135cm, (b) YCbCr gray level image from 135cm, (c) Raw image from 55cm, (d) RGB gray level image from 55cm

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی یک سامانه بینایی جهت تشخیص گوجه‌فرنگی در شرایط نور طبیعی پرداخته شد. در این سامانه، تصویر در سه فضای رنگی پردازش گردید و از سه الگوریتم تشخیص محصول از پس زمینه استفاده شد تا بتوان دقیق‌ترین روش را برگزید.

نتایج نشان داد فضای رنگی YCbCr و الگوریتم انحنای سطح تصویر در تمایز گوجه‌فرنگی رسیده از زمینه موفق می‌باشد. این سامانه را می‌توان بر روی ربات گوجه چین نصب نمود و به‌صورت برخط^۱ عمل برداشت را انجام داد.

منابع

1. Anonymous. 2010. Annual report of agriculture ministry of Iran.
2. Asada and Aslutayn. 1997. Analyze and Control the Robot. Translated by Koraym Habib nejad. Published by University of Science and Technology. (In Farsi).
3. Ebrahimi, E., K. Mollazadeh, and A. Arefi. 2011. Detection of greening in potatoes using image processing techniques. *American Science*, 7: 243-247.
4. Hannan, M. W., and T. F. Burks. 2004. Current developments in automated citrus harvesting. *American Society of Agricultural Engineers (ASAE) Paper no. 043087*.
5. Hayashi, S., K. Shigematsu, S. Yamamoto, K. Kobayashi, Y. Kohno, J. Kamata, and M. Kurita. 2010. Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field tests. *Biosystem Engineering*, 105: 160-171.
6. Huang, Y. J., and L. Fang-Fan. 2010. An automatic machine vision guided grasping system for *Phalaneopsis* tissue culture plantlets. *Computer and Electronic in Agriculture*, 70: 42-51.
7. Jian-jun, Y., M. Han-ping, and Z. Su-yu. 2009. Segmentation of fruit image based on color difference. *Communication and Computer*, 6(7): 40-45.
8. Kohan. 2011. Robotic harvesting of *Rosa Damascena* using spectroscopic machine vision. Faculty of Agricultural Machinery Engineering. Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran. (In Farsi).
9. Lak, M. B., S. Minaei, J. Amiriparian, and B. Beheshti. 2010. Apple fruit recognition under natural luminance using machine vision. *Food Science and Technology*, 2(6): 325-327.
10. Monta, M. 2000. Robot for bioproduction systems. 2nd IFAC/CIGR International workshop on Bio-Robotics, Information Technology and Intelligent Control for Bioproduction Systems. Osaka, Japan.
11. Otsu, N. 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 9(1): 62-66.
12. Rahafrooz, A. 2006. AVR microcontrollers and its applications. NAS Pub. (In Farsi).
13. Rath, T., and M. Kawollek. 2009. Robotic harvesting of *Gerbera Jamesonii* based on detection and three dimensional modeling of cut flower pedicels. *Computer and Electronic in Agriculture* 66: 85-92.
14. Tabb, A., D. Peterson, and J. Park. 2006. Segmentation of Apple fruit from video via background modeling. *American Society of Agricultural and Biological Engineers. Paper no. 063060*.
15. Tanigaki, K., T. Fujiura, A. Akase, and I. Imagawa. 2006. Cherry harvesting robot, Preprints of 3rd IFAC International Workshop on Bio-robotics, 254-260. Information Technology and Intelligent Control for Bioproduction Systems, Sapporo Japan.
16. Ting, K. C., G. A. Giacomeli, and S. J. Shen. 1990. Robot workcell for transplanting of seedlings. *Transactions of the ASAE* 33.
17. Turcco, E. and A. Verri. 1998. Introduction techniques for 3-D computer vision. Prentice Hall.

تأثیر سطح گلخانه و درصد پوشش گیاهی بر کارایی مبدل زمین به هوا در سرمایش گلخانه

محسن محمدی مقرب^{۱*} - محمد حسین عباسپور فرد^۲ - مرتضی گلدانی^۳ - باقر عمادی^۴

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۶

تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۲

چکیده

دما در طول سال در عمق ۳ تا ۴ متری زمین تقریباً ثابت است، در نتیجه تابستان دمای زیر زمین کمتر از دمای محیط بوده و این پتانسیل می‌تواند برای سرمایش گلخانه با استفاده از سامانه مبدل زمین به هوا مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق به منظور بررسی کارایی این سامانه بر سرمایش گلخانه، اثر دو پارامتر مساحت کف گلخانه در سه سطح ۹، ۱۸ و ۲۷ مترمربع و درصد پوشش گیاهی گلخانه در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد بر دمای داخل گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. طرح آزمایشی مورد استفاده آزمون فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی می‌باشد. پارامترهای دمای دورن گلخانه، انرژی حرارتی مبادله شده و ضریب عملکرد مورد بررسی قرار گرفتند. از نتایج قابل توجه در این تحقیق این است که در حالت سرمایش به دلیل بروز پدیده تقطیر در داخل لوله‌ها امکان استفاده از سیکل بسته وجود ندارد. همچنین اثر مساحت و درصد پوشش گیاهی بر عملکرد سامانه معنی‌دار بود. به طوری که بیشترین میانگین اختلاف دمایی بین دمای گلخانه شاهد و دمای گلخانه در تیمار پوشش گیاهی ۱۰۰ درصد و مساحت کف ۹ مترمربع و برابر ۹/۶ درجه سانتی‌گراد و کمترین میانگین اختلاف دمایی در تیمار بدون پوشش گیاهی و مساحت کف ۲۷ مترمربع و برابر ۵/۲ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. با در نظر گرفتن میانگین انرژی حرارتی مبادله شده در هر تیمار برای حالت سرمایش با سیکل باز بهترین تیمار برای سامانه استفاده شده در این تحقیق، تیمار با مساحت کف ۹ مترمربع و ۱۰۰ درصد پوشش گیاهی تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: اختلاف دما، انرژی مبادله شده، سرمایش، سیستم مبدل زمین به هوا، گرمایش

مقدمه

توجه به اقلیم خشک و کم باران اکثر نقاط کشور ما غیر قابل انکار است.

برای تولید و پرورش تجاری گیاهان با کیفیت بالا و در تمام طول سال باید شرایط محیطی مطلوب از نظر شدت نور، دمای روزانه، دمای شبانه، میزان رطوبت نسبی هوا و رطوبت خاک به همراه کنترل عوامل خسارت‌زا نظیر باد، طوفان‌های ویران‌گر، سرما و یخبندان فراهم گردد و این هدف به کمک گلخانه محقق می‌شود. گلخانه بخش محدودی از فضاست که در آن کلیه عوامل محیطی کنترل و برای کشت‌های متراکم، تولید محصول خارج از فصل و یا خارج از محیط طبیعی گیاه مناسب است (Molahoseini and Sielspan, 2008). فراهم نمودن شرایط محیطی مطلوب در گلخانه‌ها نیازمند مصرف مقدار زیادی انرژی است تا بار گرمایی و یا سرمایی مورد نیاز را به گلخانه وارد و یا خارج نماید، به طوری که تخمین زده می‌شود در سامانه‌های سنتی ۱۵ تا ۲۵ درصد از هزینه تولید محصولات مربوط به تأمین گرمایش در گلخانه است (Gholami, 2009). در روش‌های سنتی اغلب از منابع سوخت‌های فسیلی برای تأمین این میزان انرژی استفاده می‌شود، اما مشهود است که این منابع به زودی پایان خواهند

افزایش جمعیت و رشد مصرف سرانه که با سطح درآمد و زندگی افراد جامعه همبستگی زیادی دارد، دو مسئله مهم در تأمین نیازهای غذایی برای افراد جوامع در حال پیشرفت از جمله ایران است. در این میان نقش بهره‌گیری مؤثر و بهینه از منابع محدود آب و خاک و استفاده از نیروی انسانی موجود در کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تلاش موفقیت‌آمیز در جهت رشد درآمد ناخالص ملی و رسیدن به خودکفایی در تولید نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد کشور، همانند هر فعالیت دیگری نیاز به آگاهی عمیق از فرآیندهای عملی و اقتصادی و بکارگیری آخرین دانش و فن‌آوری روز دنیا دارد. در این راستا تکنولوژی تولید محصولات گلخانه‌ای منجر به افزایش چشمگیر راندمان بهره‌برداری از منابع محدود آبی و خاکی گشته و اهمیت آن با

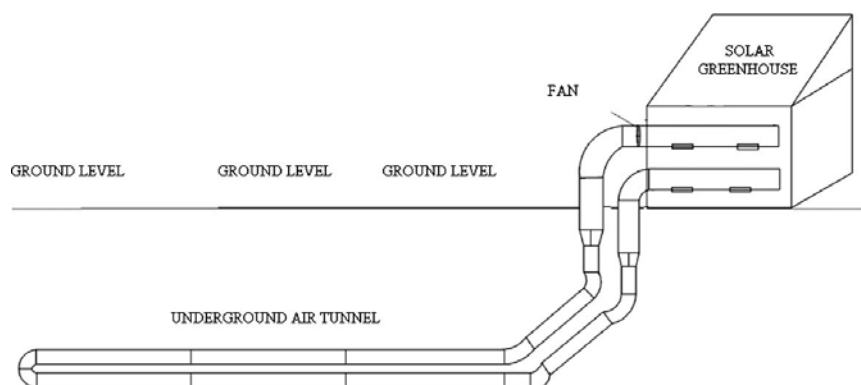
۱، ۲ و ۴- به ترتیب کارشناس ارشد، دانشیار و استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*)- نویسنده مسئول (Email: m.mogharreb@gmail.com)
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

می‌تواند ۳ تا ۴ برابر انرژی حرارتی بیشتری نسبت به برق مصرفی بین محیط گلخانه و خاک زیر زمین مبادله نماید (Mustafa Omer, 2008).

مطالعات بسیاری در نقاط مختلف جهان بر روی سیستم مبدل زمینی با جریان هوا صورت گرفته است که نشان دهنده اهمیت این موضوع در سایر نقاط جهان نیز می‌باشد. به عنوان مثال در شهر مشهد عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم مبدل زمین به هوا مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه فاکتورهای جنس لوله در دو سطح آهنی و پلاستیکی، عمق دفن لوله‌ها در دو سطح ۲ و ۴ متر، طول لوله‌ها در دو سطح ۹ و ۱۸ متر و سرعت جریان هوا در سه سطح ۴، ۷ و ۱۰ متر بر ثانیه در دو آزمایش سرمایش و گرمایش مورد بررسی قرار گرفتند. این آزمایشات در محیط باز صورت گرفته بود. در بین فاکتورهای مورد مطالعه، عمق دفن بیشترین تأثیر را بر اختلاف دمای هوای خروجی و ورودی داشت. بیشترین اختلاف دما و بیشترین مبادله انرژی گرمایی با خاک در لوله آهنی با عمق ۴ و طول ۱۸ متر و سرعت جریان هوای ۷ متر بر ثانیه به دست آمد. ضریب عملکرد در این حالت برای گرمایش و سرمایش به ترتیب ۳/۵۷ و ۵/۵۱ به دست آمد (Gholami, 2009). با توجه به اختلاف دمایی ایجاد شده در حالت سرمایش و گرمایش نتیجه گرفته شد که منطقه مورد مطالعه از پتانسیل خوبی برای جبران بخشی از بار گرمایشی و سرمایشی گلخانه برخوردار بوده و نیاز به مطالعه بیشتر در این زمینه احساس می‌شود. در تحقیقی دیگر در شهر ازمیر ترکیه از یک تونل زیر زمینی از جنس گالوانیزه به قطر اسمی ۵۶ سانتی‌متر و طول ۴۷ متر که در عمق تقریبی ۲/۵ متری سطح زمین در گلخانه‌ای به مساحت ۴۸ مترمربع نصب شده بود، به عنوان سیستم مبدل زمینی با جریان هوا برای خنک کردن گلخانه استفاده گردید. از یک فن برای ایجاد جریان هوا با دبی ۵۳۰۰ مترمکعب بر ساعت استفاده شده بود.

یافت و در نتیجه بشر برای ادامه حیات نیازمند منابع جایگزین خواهد بود. در این روش‌ها تلاش بر این است که از منابع رایگان و تجدید پذیر برای تأمین انرژی استفاده شود.

یکی از منابع انرژی رایگان، پاک و تجدید پذیر انرژی موجود در لایه‌های زیر زمین است. اگرچه دمای خاک در لایه‌های سطحی ممکن است تحت تأثیر دمای محیط قرار گیرد ولی دما در طول سال در عمق ۳ تا ۴ متری زیر سطح زمین تقریباً ثابت است، این بدین معنی است که در تابستان دمای زیر زمین کمتر و در زمستان بیشتر از دمای هوای محیط است. در نتیجه از این پتانسیل می‌توان در سرمایش و گرمایش گلخانه استفاده کرد (Sethi and Sharma, 2008). البته استفاده از خاصیت ذخیره‌سازی زمین برای گرمایش و سرمایش یک ایده جدید نیست، بلکه ایده استفاده از آن به زمان باستان بر می‌گردد (Santamouris et al., 1996). آنچه که اکنون مد نظر محققین قرار گرفته این است که چگونه از این پدیده به صورت مؤثر و بهینه برای کمک به کنترل دمای گلخانه استفاده شود. برای استفاده مؤثر از این پتانسیل زمین روش‌های متعددی پیشنهاد شده است. یکی از این روش‌ها لوله‌های دفن شده در عمق زمین است. لوله‌ها در عمق زمین مطابق شکل ۱ به صورت U شکل قرار گرفته و دو انتهای آن به سطح زمین آورده می‌شود. هوا به صورت اجباری به داخل لوله‌ها هدایت شده و پس از تبادل حرارتی با زمین دوباره به سطح منتقل می‌شود و می‌توان از انرژی حرارتی ذخیره شده در آن برای اهداف گرمایش و یا سرمایش استفاده کرد. در زمستان به دلیل بالا بودن دمای عمق زمین نسبت به دمای هوای گلخانه انتقال حرارت از خاک به هوا و در تابستان به صورت عکس صورت می‌گیرد (Abbaspour-Fard et al., 2011). در اینجا بیان این نکته ضروریست که سامانه مبدل زمینی با جریان هوا یک منبع ذخیره انرژی کاملاً رایگان نیست و در بیشتر سامانه‌ها مقداری انرژی الکتریکی برای گردش هوا مصرف می‌شود. اما در مقابل، این سیستم



شکل ۱ - شماتیک سیستم مبدل زمین به هوا

Fig.1. Schematic of earth-to-air heat exchanger (EAHE) (Ozgener and Ozgener, 2010)

گلخانه مورد نظر اجرایی کرد. هدف از این تحقیق بررسی میزان تأثیر دو عامل مساحت گلخانه و درصد پوشش گیاهی موجود در آن بر روی عملکرد سیستم مبدل زمین به هوا در شرایط آب و هوایی دشت مشهد در سرمایش گلخانه می‌باشد. ثبت تغییرات دمایی درون گلخانه تحت تأثیر سیستم مبدل زمینی با جریان هوا، دمای ورودی به سیستم مبدل و خروجی از آن، دمای محیط، بررسی نهایی عملکرد سیستم و میزان کاهش بار سرمایشی از اهداف دیگر این طرح می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این طرح در زمینی به مساحت تقریبی ۱۵۰ مترمربع واقع در محل دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. ارتفاع این منطقه ۹۸۵ متر از سطح دریا و با عرض جغرافیایی ۳۷-۳۵ درجه و طول جغرافیایی ۶۰-۵۹ درجه می‌باشد (Gholami, 2009). سیستم مبدل از لوله فولادی دفن شده در عمق ۴ متری، به طول ۱۸ متر، ۱۰ سانتی‌متر قطر و ۳ میلی‌متر ضخامت ساخته شد. یک سر لوله به دمنده متصل شده بود و انتهای دیگر آن توسط لوله‌های رابط به داخل گلخانه‌ها هدایت می‌شد. یک لوله ۴/۵ متری نیز در محلی نزدیک به دهانه خروجی لوله‌ها به صورت عمودی برای اندازه‌گیری دمای عمق خاک در نظر گرفته شد. واحدهای گلخانه‌ای با اسکلت فلزی و پوشش پلاستیکی در محل سیستم مبدل ساخته شدند. همچنین از چمن برای ایجاد پوشش گیاهی درون گلخانه در سطوح مختلف استفاده گردید. اغلب از چمن سبز کوتاه که به‌طور کامل زمین را می‌پوشاند و کاملاً از نظر آب تأمین است برای محاسبه تبخیر و تفرق مرجع استفاده می‌شود که به عنوان یک معیار استاندارد تقاضای محیطی در هر محل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Banayan et al., 2004). آزمایشات در سه تکرار و در قالب طرح فاکتوریل با بلوک‌های کاملاً تصادفی اجرا گردید. متغیرهای مستقل مورد بررسی مساحت کف گلخانه در سه سطح ۹، ۱۸ و ۲۷ مترمربع و درصد پوشش گیاهی موجود در آن در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد و متغیر وابسته دمای داخل گلخانه بود. مراحل ساخت و آماده‌سازی گلخانه در شکل ۲ نشان داده شده است. سرعت جریان هوا درون لوله‌های زیر زمینی بر اساس مطالعات صورت گرفته قبلی ۱۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد (Golami, 2009) که برای این منظور از یک دمنده با توان ۵۵۰ وات استفاده گردید. باد سنج دیجیتال پرووا مدل AVM07 با دقت ± 0.1 متر بر ثانیه به منظور تعیین دبی جریان هوا درون لوله‌ها استفاده شد. دماسنج دیجیتالی با دقت ± 0.1 درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری دمای داخل گلخانه، دمای محیط، دمای ورودی به سیستم مبدل و خروجی از آن و دماسنج جیوه‌ای برای اندازه‌گیری دمای خاک در عمق ۴ متری زیر سطح زمین استفاده گردید. آزمایشات در حالت

بیشترین اختلاف دمای بین هوای ورودی و خروجی این سیستم ۴/۲۲ درجه سانتی‌گراد گزارش شد. (Ozgener and Ozgener, 2010). گلخانه‌ای به ابعاد ۲۴ مترمربع در شهر دهلی هند ساخته شد. در قسمت شمالی این گلخانه دیواری آجری به ضخامت ۰/۲۷۵ متر ساخته شده و از یک سیستم مبدل زمینی با جریان هوا که از لوله‌های PVC به طول ۳۹ متر و قطر ۶ سانتی‌متر تشکیل شده بود استفاده گردید. لوله‌ها در عمق ۱ متری و به صورت ردیف‌هایی به طول ۴/۸ متر نصب شده بودند. یک فن جریان وزنی ۱۰۰ کیلوگرم بر ساعت هوا درون لوله‌ها ایجاد می‌کرد. نتایج نشان داد که این سیستم قادر بود دمای گلخانه را در زمستان ۶ تا ۷ درجه بیشتر و در تابستان ۳ تا ۴ درجه کمتر از گلخانه بدون سیستم مبدل نگه دارد (Ghosal et al., 2005). نتایج کاربرد سامانه مبدل زمینی با جریان هوا در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد که استفاده از سامانه زمین گرمایی می‌تواند از طریق جبران بار گرمایشی و سرمایشی ارتباط معنی‌داری با کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه آن کاهش آلودگی و کاهش هزینه تولید محصولات گلخانه‌ای داشته باشد. بیشتر این تحقیقات در نقاطی از جهان انجام شده است که از منابع عظیم سوخت‌های فسیلی بی‌بهره‌اند و در نتیجه احساس نیاز به منابع سوختی جدید تلاش‌ها و مطالعات در این زمینه را افزایش داده است. در حال حاضر گلخانه‌های موجود در ایران برای تأمین انرژی مورد نیاز خود تقریباً به‌طور کامل متکی به منابع سوخت‌های فسیلی هستند که این امر هم هزینه تولید محصولات را بالا می‌برد و هم بر افزایش روز افزون گازهای گلخانه‌ای که پدیده‌ای جهانی در تخریب محیط زیست است، دامن می‌زند. همچنین با اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها و واقعی شدن قیمت سوخت از سال ۱۳۸۹ توجه به روش‌هایی که منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی در گلخانه‌ها می‌گردد تا هزینه‌های تولید کاهش یابد اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. اما با توجه به اینکه بهره‌برداری از این منابع نیاز به تکنولوژی‌ها و مطالعات جدید داشته و اغلب سرمایه‌گذاری اولیه زیادی می‌طلبد، استفاده از آن‌ها هنوز در حد مطلوب گسترش پیدا نکرده و سوخت‌های فسیلی با توجه به در دسترس بودن به خصوص در کشورهای نفت خیز از جمله ایران همچنان مورد توجه هستند. به همین دلیل مطالعه در این زمینه یک نیاز برای حفظ آینده بشریت است.

در اکثر تحقیقات گذشته بدون توجه به اثر وجود پوشش گیاهی درون گلخانه بررسی‌ها انجام شده بود، اما در این تحقیق تلاش بر این شد تا پارامترهایی که در سایر تحقیقات مدنظر قرار نگرفته بود مورد توجه قرار گیرد. بررسی اثر دو پارامتر سطح گلخانه و درصد پوشش گیاهی موجود در آن، محققان را در طراحی سیستم مبدل زمین به هوا در گلخانه‌ها با ابعاد و پوشش‌های گیاهی مختلف یاری می‌کند. بدین ترتیب می‌توان سیستمی بهینه با حداکثر کارایی را برای

بود. آزمایشات تابستان به منظور سرمایش گلخانه انجام شد. تیمارها با در نظر گرفتن شرایط زیر به این صورت معرفی می‌شوند:

درصد پوشش گیاهی گلخانه (D)

$$D_1=0\% \quad D_2=50\% \quad D_3=100\%$$

مساحت کف گلخانه (S)

$$S_3=27 \text{ m}^2 \quad S_1=9 \text{ m}^2 \quad S_2=18$$

در نتیجه ۹ تیمار عبارتند از:

$$D_1S_1, D_1S_2, D_1S_3, D_2S_1, D_2S_2, D_2S_3, D_3S_1, D_3S_2, D_3S_3$$

نتایج و بحث

در آزمایشات سرمایش سیستم مبدل زمین به هوا از ساعت ۹ صبح شروع به کار کرده و دمای محیط (T_a)، دمای داخل گلخانه (T_G)، دمای داخل گلخانه شاهد (T_{Gs})، دمای خاک (T_s) دمای هوای ورودی به لوله‌ها (T_i) و دمای هوای خروجی از آن (T_o)، تا ساعت ۱۷ برای تمام تیمارها در روزهای مختلف ثبت شدند. در ابتدا آزمایش سرمایش به صورت چرخه بسته انجام شد، یعنی هوای داخل گلخانه به درون سیستم مبدل هدایت گردید، اما به دلیل چگالش هوای مرطوب داخل گلخانه درون لوله‌های زیرزمینی و تجمع آب در آن‌ها، دمنده در محیط بیرون قرار گرفته و هوای تازه محیط بیرون به داخل لوله‌ها هدایت شد. این پدیده با افزایش درصد پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش تبخیر و به دنبال آن بالا رفتن رطوبت نسبی داخل گلخانه تشدید می‌شد.

سرمایش در اواخر مرداد و اوایل شهریور ماه سال ۱۳۸۹ انجام شد. یکسان بودن شرایط آب و هوایی از نقطه نظر دمای هوا، شدت وزش باد و صاف و میزان ابرناکی هوا در روزهای انجام آزمایشات مد نظر قرار می‌گرفت که از طریق سایت هواشناسی پیگیری می‌شد. پس از ثبت نتایج، انرژی مبادله شده و ضریب عملکرد به ترتیب از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد (Abbaspour-Fard *et al.*, 2011). در پایان داده‌ها به منظور انجام مقایسه‌های آماری وارد محیط نرم‌افزار SPSS16 شده و نتایج از طریق اجرای طرح فاکتوریل با بلوک‌های کاملاً تصادفی و آزمون دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. همچنین نمودارهای مورد نیاز در محیط نرم‌افزار EXCEL2007 رسم گردید.

$$Q'_{out} = m'_a \times C_p (T_i - T_o) \quad (1)$$

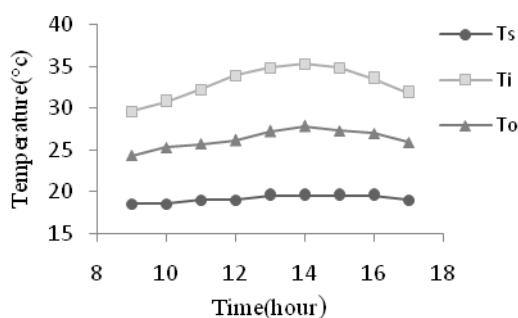
$$COP = \frac{Q'_{out}}{W'_{in}} \quad (2)$$

در این رابطه C_p ، T_o ، T_i ، m'_a ، Q'_{out} ، W'_{in} به ترتیب انرژی استفاده شده توسط مبدل ($j \text{ s}^{-1}$)، نرخ گرمای مبادله شده ($j \text{ s}^{-1}$)، نرخ جریان جرمی هوا (kg s^{-1})، دمای هوای ورودی به لوله ($^{\circ}\text{C}$)، دمای هوای خروجی از لوله ($^{\circ}\text{C}$) و گرمای ویژه هوا ($j \text{ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) می‌باشند. با توجه به انتخاب طرح آماری فاکتوریل با بلوک‌های کاملاً تصادفی و در نظر گرفتن سه سطح برای پارامترهای مستقل، تعداد کل تیمارها ۹ عدد می‌باشد که با در نظر گرفتن ۳ تکرار برای هر تیمار تعداد کل آزمایشات به ۲۷ عدد می‌رسد. در هر تیمار گلخانه شاهد گلخانه‌ای مشابه بود که سیستم مبدل زمینی در آن نصب نشده



شکل ۲- مراحل ساخت گلخانه: (a) ساخت اسکلت گلخانه. (b) کشت چمن. (c and d) ایجاد پوشش پلاستیکی بر روی اسکلت و تکمیل ساختمان گلخانه

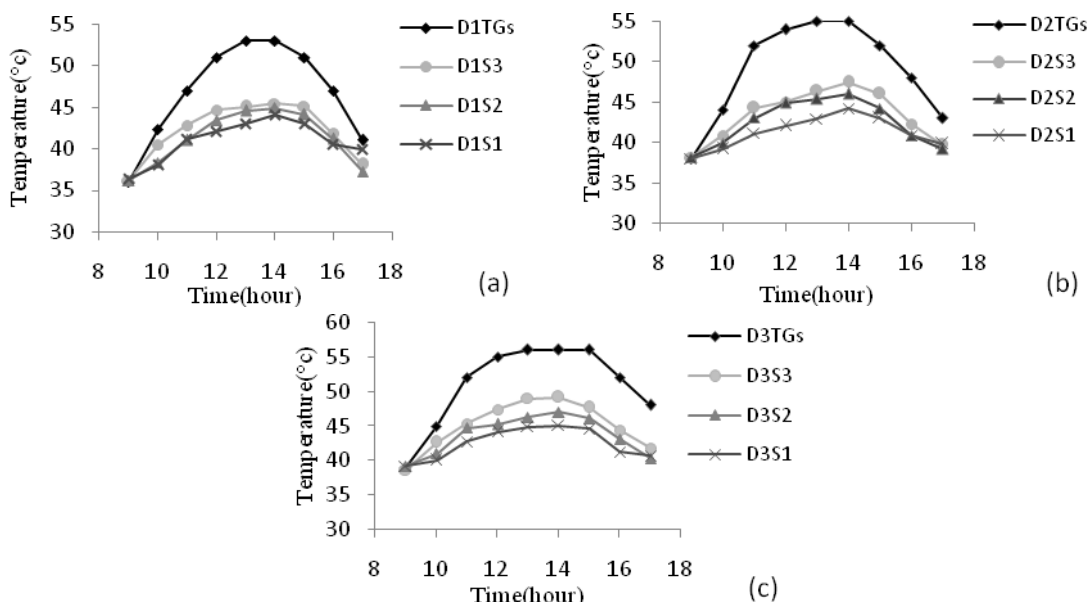
Fig.2. Greenhouse construction: a) greenhouse frame; b) greenhouse vegetation; c and d) complete greenhouse with PE cover



شکل ۳- نمودار دمای خاک (T_s)، دمای ورودی به سیستم مبدل (T_i) و خروجی از سیستم مبدل (T_o)
Fig. 3. Soil temperature (T_a), Inlet (T_i) and outlet (T_o) temperature of the EAHE.

همان‌طور که در نمودار شکل ۴ مشاهده می‌شود، بین گلخانه شاهد که فاقد سیستم مبدل زمین به هواست با سایر تیمارها در هر سه سطح پوشش گیاهی صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب در شکل‌های (a)، (b) و (c) اختلاف محسوسی وجود دارد. نوسانات دمایی در گلخانه‌های شاهد به شدت زیاد می‌باشد، اما گلخانه‌های تحت تأثیر سیستم مبدل شرایط پایدارتری داشته و سامانه توانسته است از نوسانات شدید دمایی در طول روز و به خصوص ساعات گرم در این گلخانه‌ها تا حدودی بکاهد.

این موضوع در هیچ یک از مطالعات صورت گرفته اشاره نشده است و در نتیجه اولین بار است که گزارش می‌شود. شکل ۳ میانگین دمای خاک، دمای ورودی به سیستم مبدل (دمای محیط) و خروجی از آن را در طول آزمایشات در یک نمودار نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود دمای خاک در طول روز تقریباً ثابت و در حدود ۱۹ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد نوسان داشت. این نوسانات جزئی نمی‌تواند ناشی از تغییرات دمای خاک باشد، بلکه بیشتر ناشی از تبادل گرما در چاهک اندازه‌گیری و محیط بیرون است. نتایج نشان می‌دهد که دمای هوای محیط پس از عبور از لوله‌های زیر زمینی و تبادل حرارتی با خاک خنک شده و وارد گلخانه می‌گردد. اختلاف دما حول ساعت ۱۴ بین ورودی و خروجی مبدل به دلیل افزایش اختلاف دمای هوای ورودی و دمای خاک افزایش یافته است. این اختلاف دما عامل انتقال حرارت از یک ماده به ماده دیگر است. به همین دلیل با افزایش اختلاف دما بین دو ماده گرمای بیشتری بین آن‌ها مبادله می‌شود. همچنین سیستم مبدل زمین به هوا توانسته است نوسانات دمای هوای ورودی به گلخانه را کاهش داده و هوایی با دمای نسبتاً یکنواخت را برای ورود به گلخانه فراهم کند. پس از ثبت نتایج در تیمارهای مختلف و به منظور مشاهده بهتر اختلاف دمایی ایجاد شده بین گلخانه‌های شاهد و تیمارها، نتایج در قالب نمودارهای شکل ۴ ارائه شده است. این نمودارها در پوشش‌های گیاهی صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد به صورت جداگانه و در سطوح مختلف مساحت کف گلخانه رسم شده است.



شکل ۴- نمودارهای دمای گلخانه شاهد و تیمارها (a) بدون پوشش گیاهی، (b) پوشش گیاهی ۵۰ درصد و (c) پوشش گیاهی ۱۰۰ درصد
Fig.4. Greenhouse control and treatment temperature diagrams, (a) without vegetation coverage, (b) 50% vegetation coverage and (c) 100% vegetation coverage

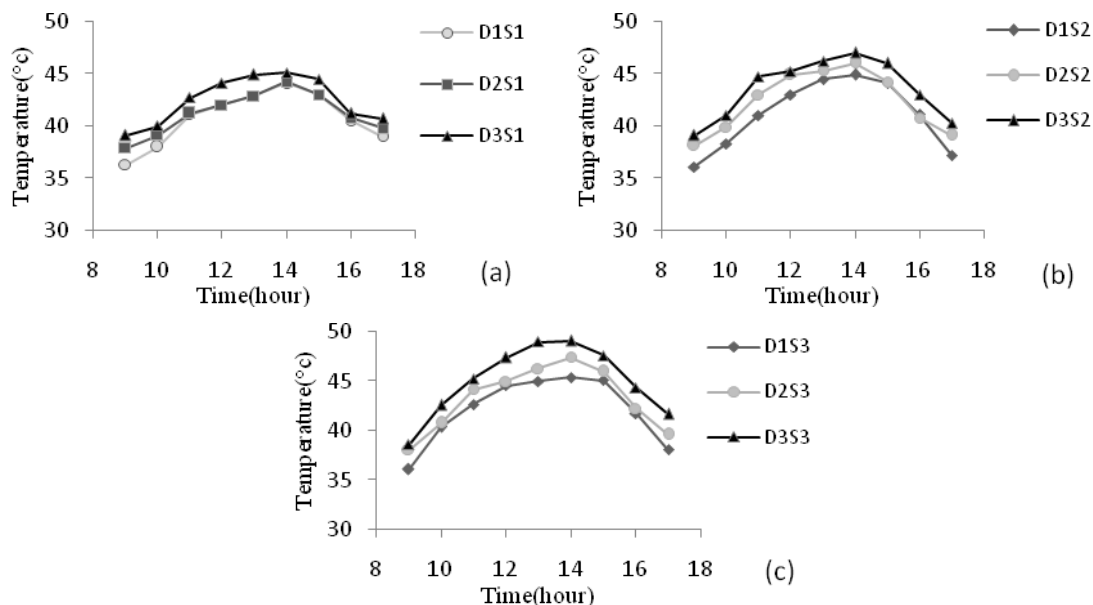
است. به طوری که در اواسط روز و در بحرانی ترین زمان ها میانگین اختلاف دمای ایجاد شده بین تیمارها و شاهد در حدود ۱۰ درجه سانتی گراد می باشد.

در نمودارهای ارائه شده در شکل ۵ اختلاف دمای بین گلخانه های با مساحت کف یکسان و درصد پوشش گیاهی مختلف نشان داده شده است. تأثیر پوشش گیاهی بر دمای گلخانه های تحت تأثیر سیستم مبدل زمین به هوا در این نمودارها قابل مشاهده است. با افزایش درصد پوشش گیاهی درون گلخانه دمای داخل آن افزایش می یابد. این امر به دلیل افزایش فرآیند فتوسنتز و تبخیر و تعرق رخ می دهد. به دنبال افزایش تبخیر و تعرق گیاه و افزایش فرآیند فتوسنتز، پدیده اثر گلخانه ای تشدید گردیده و انرژی حرارتی ورودی ناشی از تشعشع خورشیدی امکان خروج از طریق انعکاس را ندارد. بدین ترتیب بیشتر تشعشع بازتابش شده از درون گلخانه به دلیل وجود بخار آب که یک گاز گلخانه ای است درون گلخانه به دام افتاده و نتیجه آن بالا رفتن دما خواهد بود (Koocheki and hosseini, 2006). بدین ترتیب در گلخانه های با مساحت یکسان، افزایش پوشش گیاهی باعث افزایش دمای درون گلخانه خواهد شد.

به دلیل تغییرات دمایی زیاد در طول روز، استفاده از میانگین دمایی کل روز در تجزیه و تحلیل داده ها ممکن است نتیجه مطلوبی نداشته باشد.

همچنین بین گلخانه های با سطوح ۹، ۱۸ و ۲۷ مترمربع نیز به دلیل ثابت بودن دبی جریان هوا در تمامی آزمایشات اختلاف ایجاد شده است که این امر به دلیل متفاوت بودن حجم هوای داخل گلخانه بزرگ تر نسبت به گلخانه کوچک تر است که مدت زمان بیشتری نیاز است تا هوای گلخانه بزرگ تر با هوای خنک شده توسط سیستم مبدل زمین به هوا جایگزین گردد. بدین ترتیب گلخانه های کوچک تر خنک تر هستند. هر چند این نتیجه بدیهی به نظر می رسد اما می توان در تحقیقات آینده با در نظر گرفتن روند تغییرات دمایی ایجاد شده بین سطوح مختلف گلخانه با ارائه مدل هایی، رابطه ای بین دمای خاک، دمای مطلوب گلخانه و دبی جریان هوا فراهم نمود تا زمینه طراحی و عملیاتی کردن این سیستم فراهم گردد، بدین ترتیب مطالعات بیشتر در این زمینه احساس می شود.

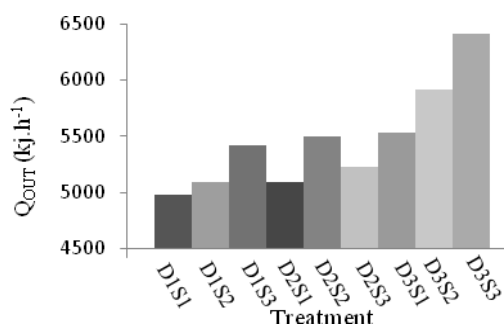
در ابتدای شروع داده برداری در ساعت ۹ به دلیل اینکه دمنده تازه روشن شده دمای تمامی گلخانه ها تقریباً یکسان می باشد. اما با گذشت زمان و ورود هوای تازه به گلخانه از طریق سیستم مبدل زمین به هوا، دمای داخل گلخانه ها رفته رفته نسبت به گلخانه شاهد پایین تر آمده است. طبق نمودار شکل ۴ بیشترین اختلاف دمایی بین گلخانه شاهد و تیمارها در فاصله زمانی ساعت ۱۲ تا ۱۴ اتفاق افتاده است. این امر به دلیل افزایش اختلاف دما بین هوای ورودی به سیستم مبدل زمین به هوا و خاک است که باعث افزایش انتقال گرما از هوا به زمین شده و هوا با اختلاف دمایی بیشتری وارد گلخانه شده



شکل ۵- نمودارهای دمای گلخانه تحت تأثیر سیستم مبدل در پوشش های گیاهی مختلف (a) گلخانه های ۹ مترمربعی، (b) گلخانه های ۱۸ مترمربعی، (c) گلخانه های ۲۷ مترمربعی

Fig. 5. Greenhouse temperature diagrams of the EAHE system with different vegetation coverage (a) 9m² Greenhouses, (b) 18m² Greenhouses (c) 27m² Greenhouses

همین دو تیمار و به ترتیب برابر ۴/۳۲ و ۳/۳۵ به دست آمد. البته با در نظر گرفتن حجم هوای داخل گلخانه در سطوح مختلف ۹، ۱۸ و ۲۷ مترمربعی که به ترتیب برابر ۱۸، ۳۶ و ۵۴ متر مکعب می‌باشد، میانگین انرژی مبادله شده در واحد حجم هوای گلخانه در ساعت مطابق جدول ۲ خواهد بود. بر اساس این مقادیر بیشترین انرژی مبادله شده در واحد حجم گلخانه در تیمار D_3S_1 ایجاد شده است. یعنی سیستم مبدل زمین به هوا توانسته است در هر ساعت، از هر متر مکعب هوای این گلخانه ۳۰۷/۵ کیلوژول انرژی خارج کند.



شکل ۶- میانگین انرژی خروجی از تیمارهای مختلف گلخانه به محیط بیرون در طول روز

Fig. 6. Average energy displacement of different treatments in the greenhouse to the outside during the day

بدین منظور طرح آماری برای داده‌های به دست آمده در سه بازه زمانی صبح (۹،۱۰،۱۱)، ظهر (۱۲،۱۳،۱۴) و عصر (۱۵،۱۶،۱۷) اجرا شد. نتایج به صورت جداگانه در جدول ۱ قابل مشاهده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود هر دو پارامتر مساحت کف گلخانه و درصد پوشش گیاهی موجود در آن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده‌اند، بدین معنی که به احتمال ۹۹ درصد این دو پارامتر بر روی دمای گلخانه‌ای که تحت تأثیر سیستم مبدل زمین به هوا است، تأثیر معنی‌دار دارند. همچنین اثر متقابل این دو پارامتر نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است، بدین معنی که این دو پارامتر در نتایج به دست آمده به احتمال ۹۹ درصد به صورت مستقل عمل نمی‌کنند.

همان‌طور که اشاره شد در حالت سرمایه‌ش هوای خنک خروجی از مبدل وارد گلخانه شده و از سمت دیگر هوای گرم و مرطوب گلخانه از آن خارج می‌شود. بدین ترتیب سیستم مبدل زمینی با جریان هوا مقداری از انرژی اضافی وارد شده به گلخانه از طریق تابش خورشیدی را دفع می‌کند. مقادیر انرژی خروجی از گلخانه در ساعات مختلف روز توسط رابطه (۱) محاسبه شده و میانگین مقادیر به دست آمده در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

با در نظر گرفتن میانگین انرژی حرارتی مبادله شده در ساعت برای تیمارهای مختلف نمودار شکل ۶ بیشترین میزان انرژی مبادله شده را در تیمار D_3S_3 نشان می‌دهد. همچنین کمترین مقدار انرژی نیز در تیمار D_1S_1 بین گلخانه و محیط بیرون مبادله شده است. بیشترین و کمترین ضریب عملکرد نیز با استفاده از رابطه (۲) برای

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس مساحت کف گلخانه و درصد پوشش گیاهی بر کارایی مبدل زمین به هوا

Table 1- Variance analysis of greenhouse area and vegetation coverage on EAHE efficiency

میانگین مربعات (MS) Mean squares			درجه آزادی (df) Degree of freedom	منابع تغییرات (sv) Sources variation
عصر Afternoon	ظهر Noon	صبح Morning		بازه زمانی (ساعت) Period (hour)
5.541 **	20.523 **	5.266 **	2	مساحت کف گلخانه (S) Greenhouse floor area
10.634 **	12.739 **	14.799 **	2	درصد پوشش گیاهی گلخانه (D) Vegetation coverage
0.670 **	1.025 **	0.252 **	4	اثر متقابل (DS) Mutual effect of
0.051	0.26	0.29	18	خطا (e) Error
			26	کل (T) Total

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

می‌شد. در نتیجه امکان استفاده از سیکل بسته وجود نداشت. به‌منظور رفع این مشکل سیکل باز مورد استفاده قرار گرفت، بدین ترتیب که هوای محیط که رطوبت پایین تری داشت به درون لوله‌ها هدایت شده و به گلخانه‌ها وارد شد. اثر دو پارامتر مساحت گلخانه و درصد پوشش گیاهی موجود در آن، همچنین اثر متقابل این دو پارامتر در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است و این دو متغیر مستقل اثر معنی‌داری بر عملکرد سیستم مبدل زمینی با جریان هوا دارند. در پایان نیز با توجه به نتایج به‌دست آمده بهترین معیار برای انتخاب گلخانه مناسب برای سیستم مبدل مورد نظر در این تحقیق میانگین انرژی خارج شده از واحد حجم هوای داخل گلخانه می‌باشد. بنابراین بهترین گزینه برای سیستم مبدل زمین به هوای مورد استفاده در این تحقیق، گلخانه D_3S_1 خواهد بود که بیشترین انرژی خروجی از واحد حجم گلخانه و برابر $307/5$ کیلوژول را دارا می‌باشد.

جدول ۲- میانگین انرژی خروجی در واحد حجم گلخانه ($\text{kJ h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$)

Table 2- Average output energy per unit volume of greenhouse ($\text{kJ h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$)

میانگین انرژی	تیمار	میانگین انرژی	تیمار	میانگین انرژی	تیمار
Average energy	Treatment	Average energy	Treatment	Average energy	Treatment
307.5	D_3S_1	286.2	D_2S_1	276.5	D_1S_1
164.5	D_3S_2	155.4	D_2S_2	141.5	D_1S_2
118.8	D_3S_3	110.4	D_2S_3	100.3	D_1S_3

نتیجه‌گیری

در تابستان رطوبت هوای داخل گلخانه افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه دمای عمق خاک پایین‌تر از دمای گلخانه است، رطوبت موجود در هوا درون لوله‌ها تقطیر شده و باعث مسدود شدن آن‌ها

منابع

1. Abbaspour-Fard, M. H., A. Gholami, M. Khojastehpour. 2011. Evaluation of an earth-to-air heat exchanger for the north-east of Iran with semi-arid climate. *International Journal of Green Energy*, 8: 499-510.
2. Banayan, M., M. Jami Al-Ahmadi, B. Kamkar, A. Mahdavi Damghani, M. Salehi. 2004. Principle of tropical agronomy. Ferdowsi university of Mashhad press. Mashhad (In Farsi).
3. Gholami, A. 2009. Investigation and Evaluation Effective Factors on Heating and Cooling in the Earth-to-air heat exchanger system. MSc Thesis Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (In Farsi).
4. Ghosal, M. K., G. N. Tiwari, D. K. Das, K. P. Pandey. 2005. Modeling and comparative thermal performance of ground air collector and earth air heat exchanger for heating of greenhouse. *Journal of Energy and Buildings*, 37: 613-621.
5. Kocheiki, A., and M. Hoseini, 2006. Climate change and global crop productivity. Ferdowsi University of Mashhad press, Mashhad, Iran (In Farsi).
6. Molahoseini, H. and M. Sielispour. 2008. Greenhouse crops production management. Avaye masih. Tehran, Iran (In Farsi).
7. Mustafa Omer, A. 2008. Ground-source heat pumps systems and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12: 344-371.
8. Ozgener, L., Ozgener, O. 2010. An experimental study of the exergetic performance of an underground air tunnel system for greenhouse cooling. *Journal of Renewable Energy*, 35: 2804-2811.
9. Sethi, V. P., Sharma, S. K. 2008. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications, *Journal of Solar Energy*, 82: 832-859.
10. Santamouris, M., G. Mihalakakou, C. A. Balaras, J. O. Lewis, M. Vallindras, A. Argiriou. 1996. Energy conservation in greenhouses with buried pipes. *Journal of Energy*, 21: 353-360.

تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر میزان مقاومت فروروی خاک، شاخص‌های فنی و عملکرد گندم

سیدمحمدجواد افزلی^{۱*} - ابراهیم جواهری^۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۵

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۸

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی اثرات روش‌های خاک‌ورزی با تأکید بر عمق نفوذ ادوات بر میزان مقاومت فروروی، شاخص‌های فنی و عملکرد گندم انجام گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار و در دو سال اجرا شد. تیمارها شامل چهار روش خاک‌ورزی گاوآهن برگردان‌دار+ دو بار دیسک+ ماله (CT)، دو بار دیسک+ ماله (RT)، زیرشکن+ دو بار دیسک+ ماله (S₁D) و زیرشکن+ روتیواتور (S₁R) بود. نتایج داده‌های برداشت شده از میزان مقاومت فروروی خاک نشان داد که در اواخر فصل رشد، خاک مجدداً تراکم خود را در عمق‌های مختلف به دست آورد، ولی با توجه به آنکه میزان نفوذ تجمعی آب آبیاری در اواخر دوره رشد، در تیمارهای زیرشکنی بیشتر بود می‌توان بیان داشت که زیرشکنی سبب ایجاد شیارهای باریک پایدار در خاک گشته است. همچنین در تیمارهای S₁D و S₁R میزان مصرف سوخت به میزان ۲/۲ و ۱۰/۴۴ لیتر در هکتار و زمان انجام عملیات به میزان ۰/۵۸ و ۱/۵۴ ساعت در مقایسه با تیمار CT کاهش یافت. نتایج بررسی عملکرد دانه نشان داد که اگر به صورت سالیانه عملیات زیرشکنی به جای گاوآهن برگردان‌دار به کار گرفته شود، عملکرد دانه ۸/۵ درصد افزایش خواهد یافت. روش‌های زیرشکنی را می‌توان به دلیل برتری در شاخص‌های فنی و همچنین حذف عملیات ماخار^۳ و کاهش تراکم کاری در زمان کشت محصول دارای برتری دانست. همچنین روش‌های زیرشکنی سبب ۲۲ درصد افزایش عملکرد دانه نسبت به روش کم‌خاک‌ورزی گردید.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی، زیرشکن، فشردگی خاک، گندم

مقدمه

تراکم خاک، گنجایش رطوبتی خاک کاهش می‌یابد (Azizie agh, 2001). این عامل باعث کاهش اکسیژن قابل دسترس گیاه و افزایش دی‌اکسیدکربن خاک و صدمه رساندن به گیاه می‌شود. در خاک‌هایی که دارای تراکم بوده‌اند با انجام عملیات زیرشکنی، طول ریشه و عملکرد محصول افزایش یافته است (Soane and Van Quwerkerk, 1994; Unger and Kaspar, 1994). شاخص‌هایی نظیر افزایش مقاومت فروروی خاک به میزان ۲ مگاپاسکال و نیز ایجاد محیطی با میزان تخلخل کمتر از ۱۰ درصد، مؤید شرایط نامناسب برای توسعه ریشه گیاه است (Gupta and Larson, 1982).

بعضی تحقیقات نشان داد که کاربرد زیرشکن دارای تأثیر کوتاه‌مدت بر جرم مخصوص ظاهری خاک بود ولی بر عملکرد محصول تأثیری نداشت (Evans et al., 1996). تحقیقات دیگر نشان داد که زیرشکنی در خاک با بافت لوم رسی سیلتی (silty clay loam) در زمین دارای لایه سخت، عملکرد را افزایش داد، ولی این افزایش عملکرد کمتر از میزان آن در زمین‌های فاقد لایه سخت

تراکم خاک، مهمترین عاملی است که سبب از بین بردن ساختمان خاک شده و نتیجه آن ممانعت از نفوذ عمقی ریشه می‌باشد. یازده درصد کل زمین‌های زراعی در سطح جهان دارای مشکل تراکم می‌باشند (Van Lynden, 2000). در اثر عبور چرخ‌های تراکتور و ادوات کشاورزی در سالیان متوالی در اجرای عملیات زراعی، جرم مخصوص ظاهری افزایش و فروروی خاک کاهش می‌یابد. با افزایش

۱- کارشناس بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

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

۲- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۳- ماخار به یک مرحله آبیاری گفته می‌شود که در اراضی دارای بافت سخت قبل از عملیات تهیه زمین و به منظور قابلیت کاربرد ادوات در حداقل مقاومت خاک (ظرفیت مزرعه‌ای) و کاهش مقاومت کششی ادوات انجام می‌گردد.

کامل تصادفی (RCBD) و در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار روش خاک‌ورزی گاوآهن برگردان‌دار+ دو بار دیسک+ ماله (CT)، دو بار دیسک+ ماله (RT)، زیرشکن+ دو بار دیسک+ ماله (S₁D) و زیرشکن+ روتیواتور (S₁R) بود. در سال دوم به‌منظور بررسی دوام اثر زیرشکنی، در تیمارهای S₁R و S₁D به جای زیرشکن از گاوآهن برگردان‌دار به عنوان خاک‌ورزی اولیه استفاده گردید و یک تیمار جدید به تیمارها افزوده شد که در آن تیمار، زمین در سال دوم، زیرشکن زده شد و پس از آن دو بار دیسک و ماله جهت خرد کردن کلوخه‌ها و تسطیح سطح خاک استفاده گردید (S₂D). ابعاد هر کرت ۱۰×۳ متر و فاصله بین تکرارها ۱۰ متر بود. عمق گاوآهن برگردان‌دار ۲۰ سانتی‌متر، عمق زیرشکن ۵۰ سانتی‌متر و عمق ادوات خاک‌ورز ثانویه ۱۰ سانتی‌متر بود. شاخه‌های زیرشکن از نوع مستقیم بودند. فاصله بین تیغه‌های زیرشکن، ۶۰ درصد بیش از عمق نفوذ آن (۷۵ سانتی‌متر) منظور گردید (Anonymous, 2003).

مقاومت فروروی خاک

این اندازه‌گیری توسط دستگاه فروسنج مخروطی (پنترولاگر) مدل Eijkelkamp ساخت کشور هلند انجام گردید. دستگاه مذکور از جدیدترین مدل‌های اندازه‌گیری شاخص مخروطی خاک است و قادر است تا فشار ۱۰ مگاپاسکال را اندازه‌گیری نماید. حداکثر عمق قابل استفاده از دستگاه ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. نوک این دستگاه از یک مخروط با زاویه رأس ۳۰ درجه و قطر ۱۲/۸۳ میلی‌متر ساخته شده و طبق معیار انجمن مهندسیین زراعی آمریکا استفاده گردید (Anonymous, 1995). در این تحقیق اندازه‌گیری مقاومت فروروی در عمق ۵۰-۰ سانتی‌متر با دقت یک سانتی‌متر و در زمان گاورو بودن مزرعه انجام شد. در سال اول اندازه‌گیری، قبل از گلدهی برای هر کرت به‌طور جداگانه در ۵ نقطه عمود بر جهت حرکت ادوات و تراکتور، هر ۳۰ سانتی‌متر و تا عمق ۵۰ سانتی‌متر انجام گردید،

زیرشکنی در سال اول (گاوآهن در سال دوم)+ دو بار دیسک+ ماله	زیرشکنی در سال اول	S ₁ D
Subsoiler in 1 st year (Moldboard plow in 2 nd year)+ 2 pass disc+ leveler	Subsoiling in 1 st year	
زیرشکنی در سال اول (گاوآهن در سال دوم)+ رتیواتور	زیرشکنی در سال اول	S ₁ R
Subsoiler in 1 st year (Moldboard plow in 2 nd year)+ rotivator	Subsoiling in 1 st year	
زیرشکنی در سال دوم+ دو بار دیسک+ ماله	زیرشکنی در سال دوم	S ₂ D
Subsoiler in 2 nd year+ 2 pass disc+ leveler	Subsoiling in 2 nd year	

بود (Al-Adawi and Reeder, 1996). نتایج تحقیقات در یک خاک با بافت رس سیلتی نشان داده که استفاده از زیرشکن در عمق ۳۵-۳۰ سانتی‌متر جرم مخصوص ظاهری خاک و مقاومت خاک را کاهش داده و عملکرد گندم را ۳/۸ درصد افزایش داد و همچنین سبب افزایش سود هکتاری کشاورز به میزان ۵۷۵۰۰۰۰ ریال گردید (Solhjo and Niazi, 2001; Solhjo and Mohammadi, 2006). تحقیق انجام یافته در استان گلستان بر عملکرد گندم نشان داد که برای تولید گندم همراه با آبیاری در طول دوره رشد، روش خاک‌ورزی عمیق با زیرشکن و شخم و دیسک و در شرایط دیم و بدون آبیاری خاک‌ورزی سطحی با دیسک به جهت حفظ رطوبت در لایه‌های عمقی خاک، بیشترین عملکرد را تولید کردند (Sadeghnejad and Eslami, 2006).

در اکثر زمین‌های کشاورزی استان خوزستان به دلیل تردد ادوات و ماشین‌های کشاورزی در سالیان متوالی یک لایه سخت در زیر عمق نفوذ ادوات کشاورزی ایجاد شده است. استفاده از ادوات در رطوبت‌های نامناسب و چسبیده بودن خاک‌های رسی، تراکم خاک را تشدید نموده است. بدین منظور ممکن است استفاده از زیرشکن به‌منظور از بین بردن این لایه به‌منظور افزایش عملکرد محصول ضرورت داشته باشد. هدف از اجرای این تحقیق یافتن مناسب‌ترین روش خاک‌ورزی، در اراضی دارای بافت سنگین استان خوزستان، با توجه به شاخص‌های فنی، فشردگی خاک و عملکرد گندم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۷-۱۳۸۶ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (ایستگاه تحقیقات کشاورزی شاور) اجرا شد. این منطقه دارای آب و هوای خشک، میزان متوسط بارندگی سالیانه ۱۴۰ میلی‌متر و خاک آن دارای بافت رس سیلتی (silty clay) می‌باشد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های

جدول ۱- خلاصه عملیات ماشینی مورد نیاز برای اجرای عملیات خاک‌ورزی در تیمارهای مختلف

Table 1- Farm machinery operations required to apply different tillage treatments

تیمارها Traetments	روش خاک‌ورزی Tillage method	نوع و ترتیب عملیات Operations type and arrangement
CT	مرسوم Conventional tillage	گاوآهن+ دو بار دیسک+ ماله Moldboard plow+ 2 pass disc+ leveler
RT	کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	دو بار دیسک+ ماله 2 pass disc+ leveler

گاورو بودن زمین انجام گرفت. نتایج نشان‌دهنده یکسان بودن اثر تیمارها بر افزایش مقاومت فروری خاک در زمان گلدهی محصول بود (شکل ۱). بنابراین ممکن است که خاک‌های رسی در اثر خصوصیت چسبندگی و انجام چند بار آبیاری خاک پس از مدتی نشست نموده و مقاومت فروری خاک مجدداً افزایش یابد. به‌منظور اطمینان از این فرضیه در سال دوم اجرای پروژه، این اندازه‌گیری در دو مرحله شروع ساقه‌دهی و شروع گلدهی انجام گردید. نتایج انجام مقایسه روند افزایش مقاومت فروری خاک با افزایش عمق خاک در زمان ساقه‌دهی محصول نشان داد که تیمارهای زیرشکنی باعث کاهش بیشتری در مقاومت فروری خاک در این مرحله شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که تیمار S_2D در مقایسه با تیمارهای دیگر مقاومت فروری خاک کمتری را دارا بود. دلیل این امر این است که در تیمارهای دیگر حداقل یک سال از زمان زیرشکنی آن گذشته بود و خاک مجدداً فشرده شده بود. نتایج سال دوم در خصوص تراکم طبیعی خاک در اثر آبیاری را تأیید نمود. روش‌های کم‌خاک‌ورزی به دلیل انجام فعالیت در عمق کم، مقاومت فروری را فقط در همان محدوده کاهش دادند و در سایر عمق‌های خاک میزان مقاومت فروری بالاتر از سایر تیمارها بود. در این زمینه اکثر محققین نشان داده‌اند که مقاومت فروری خاک در سیستم‌های کم یا عدم خاک‌ورزی نسبت به خاک‌هایی که خاک‌ورزی معمول در آن‌ها شده است، بیشتر می‌باشد (Qrant and Laftond, 1993; Ismail *et al.*, 1994; Sadeghnejad and Eslami, 2006). با فرض آنکه فعالیت ریشه در محدوده مقاومت فروری کمتر از ۲ مگاپاسکال انجام می‌گردد تا مرحله ساقه‌دهی به ترتیب در تیمارهای CT ، RT ، S_1D ، S_1R و S_2D ریشه‌ها قادر به فروری تا عمق ۳۰، ۳۳، ۳۶، ۳۵ و ۴۱ سانتی‌متری خواهند بود (شکل ۲).

اندازه‌گیری مقاومت فروری در زمان گلدهی در سال دوم نشان‌دهنده عدم تفاوت زیاد در بین تیمارها در عمق بیشتر از ۲۸ سانتی‌متری بود (شکل ۳). در عمق‌های کمتر نیز به‌جز تیمار RT که در آن مقدار مقاومت فروری خاک بیش از تیمارهای دیگر بود در سایر تیمارها تفاوت زیادی مشاهده نگردید (شکل ۳). در نتیجه میزان فروری خاک با گذشت زمان در اواخر فصل کاهش می‌یابد. در این مرحله از رشد محصول، نفوذ ریشه نیز به ترتیب (با در نظر گرفتن قدرت نفوذ ریشه تا منطقه دارای مقاومت فروری ۲ مگاپاسکال) در تیمارهای CT ، RT ، S_1D ، S_1R و S_2D تا عمق ۳۴، ۲۷، ۳۳، ۲۹ و ۳۳ سانتی‌متری امکان‌پذیر بود (شکل ۳).

با توجه به شکل‌های ۱ تا ۳ می‌توان دریافت که تراکم عمقی (و نه لایه‌ای) در زمین‌های کشاورزی استان خوزستان ممکن است به خاطر انجام عملیات خاک‌ورزی اولیه در زمین‌های دارای رطوبت مخازر شده و خاصیت چسبندگی خاک‌های سنگین باشد.

یعنی با توجه به اینکه از زیرشکن سه شاخه استفاده گردید و فاصله بین هر دو شاخه ۷۵ سانتی‌متر بود فاصله شاخه اول تا آخر (۱۵۰ سانتی‌متر) به پنج قسمت مساوی تقسیم شده و از هر قسمت یک نمونه برداشت گردید. با توجه به اینکه آزمون در سه تکرار انجام گردید، تعداد نمونه‌ها از هر تیمار پانزده عدد بود. در سال دوم اندازه‌گیری به همین طریق در دو مرحله شروع ساقه‌رفتن و شروع گلدهی انجام شد.

نفوذ تجمعی آب در خاک

این آزمون با استفاده از استوانه مضاعف انجام گردید. در این روش، در زمان آبیاری محصول در زمان گلدهی، ابتدا دو استوانه متحدالمرکز (به قطرهای ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر) به عمق ۲۰ سانتی‌متر در ۳ نقطه از هر کرت قرار گرفت. استوانه داخلی برای اندازه‌گیری سرعت نفوذ به کار می‌رود. برای جلوگیری از حرکت افقی آب در فاصله بین دو استوانه داخلی و خارجی آب ریخته شد. سپس یک پلاستیک بر روی فضای داخلی استوانه داخلی قرار داده و پر از آب گردید. پس از آن پلاستیک به سرعت از یک سمت برداشته شد و ارتفاع آب درون استوانه داخلی قرائت گردید. سپس به‌وسیله خط‌کش در زمان‌های ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ دقیقه و در جمع به مدت ۳ ساعت میزان افت آب در استوانه داخلی اندازه‌گیری شده تا سرعت نفوذ تقریباً یکنواخت گردید. سپس نمودار میزان نفوذ تجمعی خاک در واحد زمان رسم گردید.

عملکرد دانه

پس از حذف حاشیه کرت، تعداد سه نقطه تصادفی با انداختن کادر ۱×۱ متر مشخص و محصول درون آن‌ها برداشت و عملکرد دانه معین شد. سپس عملکرد دانه بر اساس رطوبت استاندارد ۱۴ درصد به‌وسیله رابطه (۱) محاسبه گردید (Dehghan and Almassi, 2007).

$$Y_{ws} = \frac{y_f \times (100 - VL)}{100 - W_s} \quad (1)$$

Y_{ws} = وزن دانه با رطوبت استاندارد (gr)

y_f = وزن دانه با رطوبت مزرعه (gr)

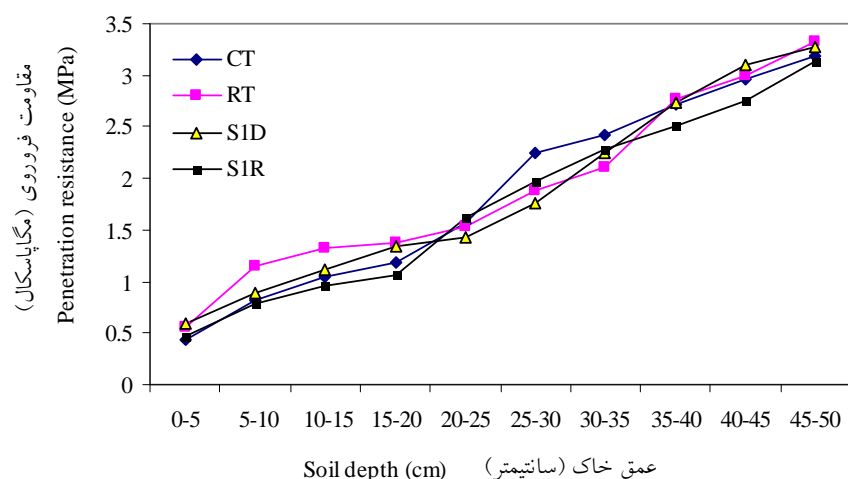
VL = درصد رطوبت دانه در مزرعه

W_s = درصد رطوبت استاندارد

نتایج و بحث

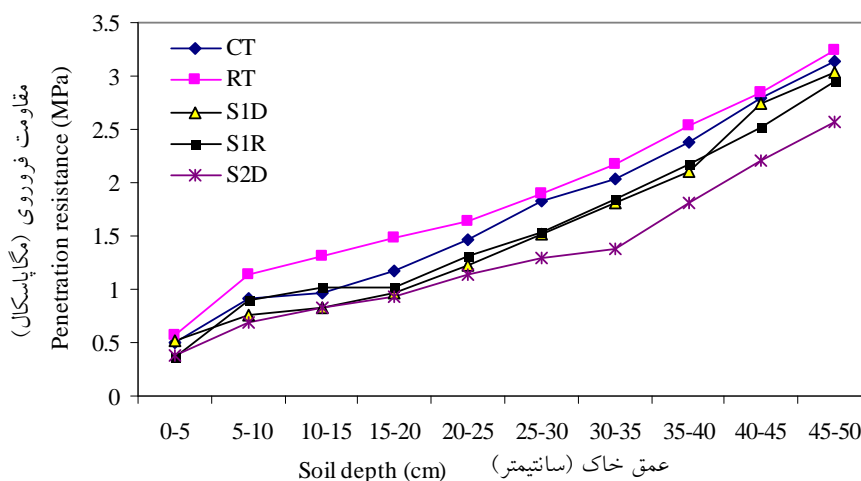
مقاومت فروری خاک

این پارامتر در سال اول در زمان گلدهی محصول و در زمان



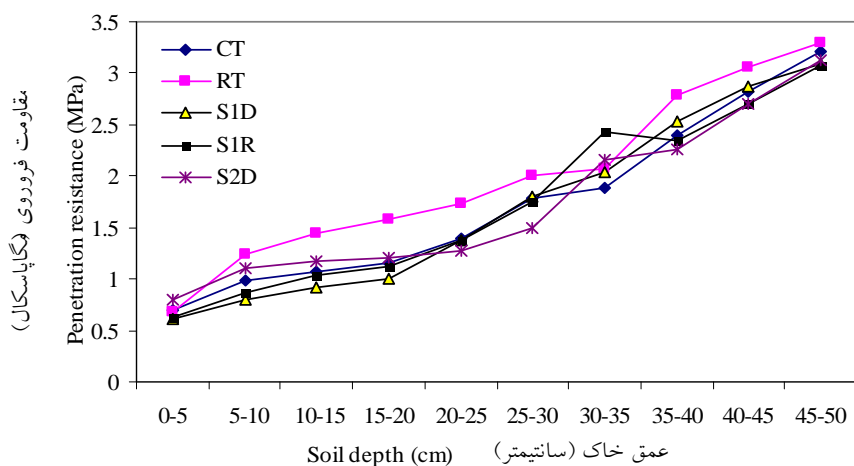
شکل ۱- تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر میزان مقاومت فروروی خاک در سال اول در زمان گلدهی

Fig. 1. Effect of tillage methods on Cone Index in 1st year on flowering stage



شکل ۲- تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر میزان مقاومت فروروی خاک در دوم در زمان ساقه رفتن

Fig. 2. Effect of tillage methods on Cone Index in 2nd year on stem development stage



شکل ۳- تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر میزان مقاومت فروروی خاک در دوم در زمان گلدهی

Fig. 3. Effect of tillage methods on Cone Index in 2nd year on flowering stage

دانستند. (Majidi Iraj and Raoufat, 1997).

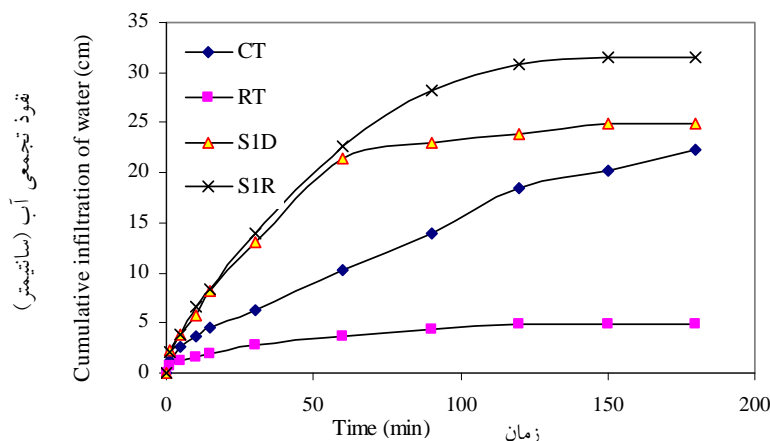
نفوذ تجمعی آب در خاک

همان‌گونه که عنوان گردید در اواخر فصل رشد، وضعیت فشردگی خاک در تیمارهای مختلف یکسان بود. از آنجا که نفوذ تجمعی آب در تیمارهای زیرشکنی اختلاف زیادی را نسبت به تیمارهای دیگر نشان داد (شکل ۴)، شاید بتوان نتیجه گرفت در اواخر فصل رشد اثرات باقیمانده زیرشکنی فقط محدود به محل عبور شاخه‌های زیرشکن بوده و در نتیجه فقط هدایت آب را تسریع داده و در فاصله بین شاخه‌ها در اثر بافت سنگین خاک و چند مرحله آبیاری، تراکم خاک مجدداً ایجاد گردید. این امر می‌تواند در جذب آب بیشتر توسط ریشه گیاه مؤثر بوده و عملکرد دانه را افزایش دهد (جدول ۲). نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مؤید نظرات دیگر محققین بوده است که نشان دادند عملیات زیرشکن نسبت به اجرای عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار، باعث افزایش نفوذ آب در خاک در حدود دو برابر شد و دلیل آن را شکستن لایه سخت و خرد شدن خاک‌دانه‌ها

عملکرد دانه

مقایسه میانگین دو ساله داده‌ها برای روش‌های مختلف خاک‌ورزی نشان داد که بیشترین و کمترین میانگین عملکرد دانه به میزان ۴۳۰۷ و ۳۵۱۷ کیلوگرم بر هکتار به ترتیب متعلق به روش‌های خاک‌ورزی S_1R و RT بود (جدول ۲).

بررسی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد دانه در سال‌های مختلف نشان داد که در سال اول تیمارهای زیرشکنی عملکرد دانه را به‌طور معنی‌دار افزایش داد (جدول ۲). در سال دوم تیمار اضافه شده خاک‌ورزی عمیق که در آن زیرشکنی در سال دوم اجرا شد به عنوان تیمار برتر شناخته شد ولی تأثیرات زیرشکنی که در سال اول انجام شده بود کم شد.



شکل ۴- تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی بر روند میزان نفوذ تجمعی آب در خاک در سال اول در زمان گلدهی

Fig.4. Effect of tillage methods on cumulative infiltration of water at 1st year on flowering stage

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه به روش چند دامنه‌ای دانکن، در سطح ۵ درصد

Table 2- Comparison of grain yield, using Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$)

تیمارها Treatments	سال اول 1 st year	سال دوم 2 nd year	دو سال Mean of 2 year
گاوآهن برگردان‌دار+ دو بار دیسک (CT)	4083 ^b	4251 ^{ab}	4167 ^a
دو بار دیسک (RT)	3753 ^b	3407 ^b	3517 ^b
زیرشکن در سال اول+ دو بار دیسک (S_1D)	4568 ^a	3817 ^{ab}	4192 ^a
زیرشکن در سال اول+ رتیواتور (S_1R)	4520 ^a	4094 ^{ab}	4307 ^a
زیرشکن در سال دوم+ دو بار دیسک (S_2D)		4462 ^a	

CT= Moldboard plow +2 pass disc, RT= 2 pass disc (reduced tillage), S_1D = Subsoiler in 1st year +2 pass disc, S_1R = Subsoiler in 1st year + Rotivator, S_2D = Subsoiler in 2nd year + 2 pass disc
Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

شاخص‌های فنی

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های فنی نشان داد که روش‌های مختلف خاک‌ورزی تفاوت آماری معنی‌داری در سطح ۱ درصد از نظر شاخص‌های مصرف سوخت، زمان مورد نیاز و ظرفیت مزرعه‌ای دارند (جدول ۳).

مصرف سوخت

نتایج مقایسه روش‌های خاک‌ورزی از نظر مصرف سوخت در واحد سطح نشان داد که بیشترین مصرف سوخت با ۴۱/۲۴ لیتر بر هکتار به تیمار CT و کمترین آن با ۱۹/۹۰ لیتر بر هکتار به تیمار RT اختصاص داشت (جدول ۴). علت افزایش مصرف سوخت در تیمار RT، بالاتر بودن تعداد عملیات و عرض کم گاوآهن برگردان‌دار و پایین بودن سرعت کار با این وسیله بود. البته تیمار S₁R از نظر میزان مصرف سوخت با ۳۰/۸۰ لیتر، با تیمار RT تفاوت معنی‌دار نشان نداده است و در صورت افزایش میزان عملکرد محصول و کاهش زمان انجام عملیات می‌تواند جایگزین آن شود (جدول ۴). میزان مصرف سوخت در روش کم‌خاک‌ورزی حدود ۴۶ درصد مقدار

به‌نحوی که تفاوت آماری بین آن‌ها و روش خاک‌ورزی مرسوم (CT) مشاهده نگردید (جدول ۲). این نتیجه منطبق با نتیجه تحقیقات دیگر محققین بود که گزارش دادند به‌منظور افزایش عملکرد دانه در سال دوم اجرای عملیات، باید در سال اول پس از زیرشکنی، خاک توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شود تا بقایا به عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک منتقل شده و رطوبت خاک را حفظ نمایند و انجام زیرشکنی بدون انجام شخم توسط گاوآهن برگردان‌دار فقط در سال اول عملکرد دانه گندم را به میزان ۱۷ درصد افزایش داد (Sadeghinejad and Eslami, 2006). در نتیجه می‌توان عنوان داشت در شرایط خاک‌های خوزستان اثر زیرشکنی حداقل تا یک سال پس از آن قادر به افزایش عملکرد دانه گندم خواهد بود. از آنجا که مصرف آب در تیمارهای زیرشکنی در اواخر دوره رشد بالاتر بوده است (شکل ۴)، لذا احتمالاً اثر شیارهای ایجاد شده توسط زیرشکن تا پایان دوره رشد باقی مانده است. با توجه به اینکه تفاوت عملکرد تیمارها در سال دوم در بین تیمارهای بکارگیری زیرشکنی در سال اول و روش‌های مرسوم کاهش یافت، می‌توان بیان داشت که با توجه به بافت سنگین خاک در اراضی جنوب استان خوزستان، این اراضی قابلیت فشردگی طبیعی در اثر افزایش دفعات آبیاری را داشته و در طی حدود یک سال مجدداً در عمق‌های پایین به تدریج متراکم می‌گردند.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر روش‌های خاک‌ورزی بر شاخص‌های فنی

Table 3- Analysis of variance of the effect of tillage methods on technical indices

MS		df	
زمان مورد نیاز required time (h ha ⁻¹)	مصرف سوخت Fuel consumption (lit ha ⁻¹)		
0.83	20.58	2	Replication
28.21**	280.57**	3	Treatment
0.08	23.71	6	Error
		11	Total
13.28	14.87		c.v

** = Significant at 1%

جدول ۴- تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر شاخص‌های فنی

Table 4- Effect of tillage methods on technical indices

زمان عملیات Operations time (h ha ⁻¹)	مصرف سوخت Fuel consumption (lit ha ⁻¹)	روش‌های خاک‌ورزی Tillage methods
3.20 ^a	41.24 ^a	گ. برگردان‌دار+ دو بار دیسک+ ماله (CT)
1.25 ^b	19.90 ^b	دو بار دیسک+ ماله (RT)
2.62 ^a	39.04 ^a	زیرشکن+ دو بار دیسک+ ماله (S ₁ D)
1.66 ^b	30.80 ^{ab}	زیرشکن+ روتیواتور (S ₁ R)

CT= Moldboard plow+2 pass disc+leveler, RT= 2 pass disc+Leveler (reduced tillage), S₁D= Subsoiler 2 pass disc+Leveler, S₁R= Subsoiler+Rotivator

پیشنهادها

۱- با توجه به عدم دسترسی کشاورزان به آب در اوایل فصل رشد، با توسعه به کارگیری زیرشکن در استان، انجام عملیات شخم در اواخر فصل تابستان امکان‌پذیر شده و تراکم کاری در زمان کشت، کاهش خواهد یافت. همچنین با توجه به اینکه عملیات زیرشکنی در سال دوم انجام نشده و فقط خاک‌ورزی ثانویه اعمال می‌گردد و همچنین نتایج نشان داد که عملکرد محصول نیز کاهش نیافت، این روش سبب صرفه‌جویی در زمان آماده‌سازی زمین گشته و بنابراین امکان کشت به موقع در سطوح وسیع امکان‌پذیر می‌گردد.

۲- با توجه به اینکه تراکتورهای کمتر از ۱۰۰ اسب بخار قادر به کشت زیرشکن در عمق پایین‌تر از ۴۰ سانتی‌متر نمی‌باشد، توسعه استفاده از این دستگاه در استان منوط به افزایش این تراکتورها می‌باشد.

۳- استفاده از دستگاه‌هایی که مانند زیرشکن در خاک‌ها شیار ایجاد نموده و بقایا را در سطح خاک حفظ می‌نماید (مانند چیزل-پیلر) و همچنین با تراکتورهای متداول قابل کشیدن می‌باشند، باید مورد توجه خاص قرار گیرد.

۴- با اینکه کم‌خاک‌ورزی سبب ایجاد عملکرد دانه کمتری نسبت به خاک‌ورزی مرسوم گردید، ولی لازم است با توجه به حفظ بقایا و عدم برگردان نمودن آن‌ها در این روش، به وسیله مقایسات چند ساله نتیجه قطعی را در زمینه تأثیر طولانی‌مدت کم‌خاک‌ورزی بر میزان عملکرد محصول به دست آورد.

۵- به‌منظور کاهش زمان انجام عملیات و مصرف سوخت در هکتار و همچنین حذف عملیات مآخار و حفظ بقایای محصول قبلی در سطح خاک، استفاده از زیرشکن نسبت به گاوآهن برگردان‌دار برتری دارد.

آن در روش خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد که مشابه با نتایج تحقیقات سایر محققین بود. مثلاً بوناری و همکاران (Bonari et al., 1995) گزارش دادند که زمان کار، مصرف سوخت، انرژی مورد نیاز و هزینه در شرایط کم‌خاک‌ورزی ۵۵ درصد کاهش می‌یابد.

زمان مورد نیاز

نتایج بررسی زمان انجام عملیات در روش‌های مختلف خاک‌ورزی نشان داد که تیمارهای CT و RT به ترتیب دارای بیشترین و کمترین زمان انجام عملیات با میزان ۳/۲۰ و ۱/۲۵ ساعت برای آماده‌سازی یک هکتار زمین می‌باشند (جدول ۴). در نتیجه روش‌های کم‌خاک‌ورزی با توجه به سرعت بالای آماده‌سازی زمین و مصرف سوخت کمتر و در نتیجه امکان کشت زمین‌های بیشتر در زمان محدود، در صورت عدم کاهش قابل توجه در عملکرد برای اراضی وسیع استان مناسب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تیمارهای زیرشکنی ضمن افزایش عملکرد محصول برای حداقل یکسال باعث کاهش میزان مصرف سوخت و زمان انجام عملیات گردیدند. همان‌گونه که عنوان گردید دلیل این امر نفوذپذیری آب در اثر به کارگیری زیرشکن در محل عبور شاخه‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه عملیات زیرشکنی در فصل تابستان و در زمین خشک انجام می‌گردد در نتیجه با جایگزینی این روش با خاک‌ورزی مرسوم، عملیات مآخار حذف گردیده و تراکم کاری در زمان کشت (فصل پاییز) کاهش خواهد یافت. نتایج نشان داد که روش‌های زیرشکنی سبب ۲۲ درصد افزایش عملکرد دانه نسبت به روش کم‌خاک‌ورزی گردید.

منابع

- Al-Adawi, S. S., and R. C. Reeder. 1996. Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields and soil physical properties. *Trans. ASAE* 39:1641-1649.
- Anonymus. 1995. Soil cone penetrometer. ASAE standard S313.2. *Agricultural Engineering Year Book*, P. 683.
- Anonymous. 2003. Soil compaction: Detection, Prevention and alleviation. Available from: <http://policy.nrcs.usda.gov/scripts/lpsris.dll/TN/TN-Agronomy-7.a>. Accessed: 11 may 2010.
- Azizi Agh Ghaleh, B. 2001. Effect of mixture of three types organic materials and soil on maximum specific dry bulk density and soil critical capacity during compaction.
- Bonari, E., M. Mazzoncini, and A., Peruzzi. 1995. Effect of conservation and minimum tillage on winter oilseed rape in a sand soil. *Soil and Tillage Research*, 33:91-108.
- Dehghan, E., and M. Almassi. 2007. Effects of tillage methods on yield and yield components of two rice cultivars (*Oryza Sativa L.*) in drybed seeding at Shavoor, Khuzestan. *J. of Agric. Eng. Res.* 7(29): 89-100. (In Farsi).

7. Evans, S. D., M. J. Lindstrom, W. B. Voorhees, J. F. Moncrief, and G. A. Nelson. 1996. Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil moisture, and corn yield. *Soil and Tillage Research*, 38:35-46.
8. Gupta, S. C., and W. E. Larson. 1982. Modeling soil mechanical behavior during tillage. In P. W. Unger and D. M. Van Doren Jr (eds.) predicting tillage effects on soil physical properties and processes. ASA Spec Pub. 44. ASA, Madison, WI. 151-178.
9. Ismail, I., R. L. Blevin, and W. W. Frge. 1994. Long-term no-tillage effects on soil properties sunflower yields. *Soil Sic. Soc, Am. J.* 58: 193-198.
10. Majidi Iraj, H., and M. H. Raoufat. 1997. Power requirement of a bentleg plow and its effects on soil physical conditions. *Iran Agric. Res.* 16: 1-16.
11. Qrant, C. A., and G. P. Laftond. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance of a clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil. Sci.* 73: 223-232.
12. Sadeghnejad, H. R., and K. Eslami. 2006. The comparison of wheat yield under different tillage methods. *J. of Agric. Science. Islamic Azad University.* 12(1): 103-112. (In Farsi).
13. Soane, B. D., and C. Van Quwerkerk. 1994. *Soil compaction in crop production.* Elsevier, P. 662.
14. Solhjoui, A. A., and D. Mohammadi. 2006. Economical comparison of subsoiling and conventional tillage in different irrigation duration on sugar beet production. *Research and Building*, 77:182-191. (In Farsi).
15. Solhjoui, A. A., and j. Niazi. 2001. Effect of subsoiling on soil physical properties and irrigated wheat yield. *J. Ag. Eng. Res.* 2(7): 65-78. (In Farsi).
16. Unger, P. W., and T. C. Kaspar. 1994. Soil compaction and root growth: a review. *Agron. J.* 86, 759-766.
17. Van Lynden, G. W. J. 2000. The assessment of the status of human-induced degradation. *FAO Report.* No. 37.

بررسی و انتخاب خطی کار مناسب کشت گندم در استان همدان

احمد حیدری^{۱*} - ایرج اسکندری^۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۸

تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۲۷

چکیده

به منظور ارزیابی خطی کارها و انتخاب خطی کار مناسب کشت گندم در اراضی دیم استان همدان، تحقیقی طی سه سال (۸۶-۱۳۸۳) در ایستگاه تحقیقاتی تجرک مرکز تحقیقات کشاورزی همدان با خاکی دارای بافت لوم رسی سیلت‌دار انجام شد. در این تحقیق از سه روش کاشت ماشینی شامل: ۱- خطی کار بزرگ همدان ۲- خطی کار سهلان کشت ۳- خطی کار کشت گستر ۴- دست‌پاشی و پوشانیدن با دیسک (روش مرسوم) استفاده شد. این تحقیق به صورت طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. در آزمایشگاه میزان ریزش بذر توسط هر واحد موزع و همچنین میزان صدمه وارد به بذرها توسط موزع‌ها اندازه‌گیری شد. قبل از برداشت، از هر پلات نمونه‌هایی جهت تعیین اجزا عملکرد گندم (تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه) برداشت شد. در پایان عملکرد بیولوژیکی (دانه+کاه) و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. نتایج سه سال تحقیق نشان داد که اثر روش‌های مختلف کاشت بر عملکرد دانه گندم و عملکرد کاه معنی‌دار نبود. در حالی که در دو سال خشک (۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴) اثر روش‌های کاشت بر عملکرد گندم معنی‌دار شد و خطی کار کشت گستر با فاصله بیشتر ردیف‌های کشت، بیشترین عملکرد را نسبت به روش‌های دیگر داشت. میانگین عملکرد دانه گندم در سه سال، 1224 kg ha^{-1} بود. بیشترین عملکرد دانه گندم (1275 kg ha^{-1}) با خطی کار کشت گستر و کمترین عملکرد دانه گندم (1174 kg ha^{-1}) با خطی کار بزرگ همدان به‌دست آمد. از نظر عملکرد کاه، خطی کار بزرگ همدان با 2349 kg ha^{-1} و روش دست‌پاشی + دیسک با 2009 kg ha^{-1} ، به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد کاه را داشتند. اثر سال بر عملکرد گندم معنی‌دار بود. میانگین عملکرد دانه گندم در سال مرطوب (۸۶-۱۳۸۵)، برابر 1579 kg ha^{-1} و در دو سال خشک (۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴) برابر 1026 kg ha^{-1} بود. بنابراین با توجه به نتایج، محدوده وسیعی از عمیق کارها را می‌توان در منطقه به کار برد.

واژه‌های کلیدی: اراضی دیم، خطی کار، عملکرد، گندم، همدان

مقدمه

تراکم بوته، قدرت رشد و نمو بعدی گیاه و نهایتاً میزان عملکرد گندم می‌باشند، باقی می‌گذارند. در این راستا انجام تحقیقات دقیق و انتخاب و توصیه نمودن خطی کار مناسب برای کشت گندم دیم می‌تواند عملکرد گندم را بالا برده و لزوم خرید انواع خطی کارهای غیر کارا را بر طرف سازد. از عواملی که در کیفیت کشت، جوانه‌زنی و رشد نمو بعدی گیاه (گندم) مؤثر می‌باشد، تهیه بستر بذر می‌باشد. نوع تهیه بستر بذر و شرایط اقلیمی تأثیر مستقیم در انتخاب خطی کار دارد. بذر برای جوانه‌زنی نیاز به جذب رطوبت دارد. این امر در صورتی امکان پذیر خواهد بود که تماس کافی بین بذر و خاک برقرار شود. بدین منظور اندازه قطعات خاک کنار بذر بایستی هم اندازه و یا کوچک‌تر از بذر باشد. لذا در عمق قرارگیری بذر (عمق کاشت) نیاز به خاک خرد شده و در لایه سطحی کار با فاصله خطوط کم، معمولاً تأثیر مثبتی بر روی عملکرد محصول دارد (Godwin, 1990).

بررسی‌های انجام یافته بر روی شش نوع شیار بازکن تحت شرایط مزرعه‌ای نشان می‌دهد که نوع شیار بازکن به طور معنی‌داری

از فاکتورهای مهمی که در عملکرد گندم مؤثر می‌باشد کیفیت سبز شدن بذر (خروج گیاهچه از خاک) و تراکم بوته در واحد سطح مزرعه پس از کشت می‌باشد. کشت گندم امروزه توسط خطی کارها انجام می‌گیرد که کیفیت کار آن‌ها بسته به نوع موزع، نوع شیار بازکن، تعداد ردیف‌ها و فاصله بین آن‌ها، نوع پوشاننده و نوع چرخ‌های فشار دهنده متفاوت می‌باشد. خطی کارهایی که در زراعت دیم به کار برده می‌شوند دارای خصوصیات فنی متفاوتی می‌باشند که هر کدام تأثیر خود را روی عمق بذر و کود، میزان فشردگی خاک و رطوبت بستر بذر که مجموعاً عوامل تعیین کننده درجه جوانه‌زنی و سبز شدن بذر و

۱- مربی پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان

*- نویسنده مسئول: (Email: heidari299@yahoo.com)

۲- مربی پژوهش مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم

گندم سرداری حاکی از آن است که فاکتور عمق کاشت تفاوت معنی دار داشته و در عمق کاشت ۴ سانتی متر بیشترین عملکرد به دست آمده است (Anonymous, 1993).

نتایج یک آزمایش نشان داد که عمق کاشت بذرها در خطی کار با شیاربازکن دیسکی بسیار غیر یکنواخت می باشد (عمق جایگذاری بذر از ۳ سانتی متر تا بیش از ۸ سانتی متر بود). پژوهشگر علت جایگذاری عمیق تر بذور را سنگین بودن وزن خطی کار توجیه کرده است و اضافه نموده که با وجود تنظیم دقیق عمق کاشت بذر در خطی کار، باز در اثر سنگینی دستگاه، شیاربازکن ها بیشتر در خاک فرو رفته اند (Sidorenko, 1987).

با توجه به تنوع کشت گندم دیم با روش های مختلف در استان همدان، این تحقیق با هدف ارزیابی خطی کارهای موجود و انتخاب خطی کار مناسب کشت گندم دیم اجرا شد.

مواد و روش ها

جهت بررسی و مقایسه کار خطی کارهای رایج در اراضی دیم استان همدان و تأثیر آن ها بر روی عملکرد و اجزای عملکردی گندم، سه مدل خطی کار شامل: ۱- خطی کار ماشین برزگر همدان ۲- خطی کار کشت گستر ۳- خطی کار سهلان کشت به همراه ۴- روش دست پاشی + پوشانیدن بذر با دیسک در قالب طرح آماری بلوک های کامل تصادفی در ۴ تکرار و به مدت سه سال زراعی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی تبرک مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱ و ۲).

مشخصات خطی کارهای مورد تحقیق در جدول ۳ آورده شده است. تراکتور مورد استفاده مسی فرگوسن مدل ۳۹۹ و ابعاد کرت های آزمایش ۹×۲۰ متر مربع و فاصله بلوک ها از یکدیگر ۱۲ متر بود. محل اجرای آزمایش در بهار هر سال به وسیله شخم با گاواهن برگردان دار به همراه دیسک زدن (روش مرسوم خاک ورزی منطقه) آماده می شد (تناوب آیش - گندم). قبل از کاشت و در آزمایشگاه میزان ریزش بذر توسط هر واحد موزع در کلیه خطی کارها و همچنین میزان صدمه وارد به بذرها توسط موزع ها اندازه گیری شد. در اواسط مهرماه هر سال (قبل از بارندگی ها)، کاشت گندم دیم (رقم سرداری) با چهار روش (سه روش کاشت ماشینی به همراه دست پاشی) به مقدار 150 kg ha^{-1} انجام شد. همچنین تمام کود فسفات و نصف کود از ته در زمان کاشت در پاییز با ماشین زیر بذر گذاشته شد (لازم به توضیح است که دو نوع خطی کار برزگر همدان و سهلان کشت قابلیت جایگذاری مجزا کود را داشته و کود را درست زیر بذر قرار می دادند ولی خطی کار کشت گستر قابلیت جایگذاری مجزا کود را نداشت) و نصف دیگر کود نیتروژنه در فروردین بهار سال بعد به صورت سرک استفاده شد.

بر روی پخش بذر، رطوبت خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک و عمق کاشت بذر مؤثر بوده و جوانه زنی بذر را که تابعی از عوامل ذکر شده می باشد تحت تأثیر قرار می دهد (Sanaee, 1992).

سه نوع خطی کار شامل ۱- خطی کار جان شیرر ۲- خطی کار کشت گستر و ۳- خطی کار TZDK به همراه روش دیسک (شاهد) از نظر کارایی دستگاه و تأثیرشان بر عملکرد گندم دیم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه مورد بررسی و آزمایش قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که به ترتیب خطی کار TZDK با میانگین عملکرد 1740 kg ha^{-1} ، خطی کار جان شیرر با میانگین عملکرد 1530 kg ha^{-1} ، خطی کار کشت گستر با میانگین عملکرد 1390 kg ha^{-1} و روش دیسک با میانگین عملکرد 1270 kg ha^{-1} را داشتند. از نظر یکنواختی ریزش بذر، موزع های خطی کار کشت گستر نسبت به موزع های دو خطی کار دیگر دقیق تر عمل کرده و یکنواختی ریزش بذر در این خطی کار بیشتر بود. همچنین شکستگی بذر در خطی کار کشت گستر کمتر از دو نوع خطی کار دیگر بود (Eskandari, 1997).

به منظور اطمینان از جایگذاری بذر در عمق مناسب، در حین عملیات بایستی عمق کاشت کنترل شود. با این وجود و با اعمال تنظیمات دقیق، تعیین عمق جوانه زنی دقیق بذر گندم (عمق کاشت واقعی) مشکل می باشد. دلیل این امر از ایجاد تغییرات نامنظم در خاک توسط خطی کارها و به خصوص هنگامی که شیاربازکن های عریض و فرسوده مورد استفاده قرار بگیرد و نیز هنگامی که کاشت بذر و کود توأم می باشد، ناشی می شود. از طرفی در بعضی موارد، کشت در شیار به دلیل ریزش خاک بیشتر بر روی بذر، عمق کاشت مورد نظر را تأمین نمی کند (Laffond and Fower, 1989).

شیار بازکن ها از اجزای مهم خطی کارها هستند که نقش مهمی را در قرارگیری بذر در خاک ایفا نموده به نحوی که شرایط مناسب برای سبز شدن بذر فراهم شود. شیاربازکن های مورد استفاده در کشت غلات عمدتاً از نوع زاویه حاده و یا منفرجه می باشند. شیاربازکن هایی با زاویه برخورد منفرجه (شیاربازکن های کفشی) در خاک های دارای ذرات ریز یا بافت جدا از هم (خاک های شنی) بازده خوبی داشته و نوسانات عمق کاشت تقلیل می یابد. شیاربازکن های با زاویه برخورد حاده (شیاربازکن بیلچه ای) به دلیل کوچک تر بودن اندازه بال ها، تأثیر عمل آن ها در مورد جلوگیری از ریزش بدنه شیار نسبت به شیاربازکن کفشی کمتر بوده و نوسانات عمق زیاد می باشد (Sanaee, 1992).

نتایج تحقیقات انجام شده نشان داد که زمان مورد نیاز برای جوانه زنی بذر هنگامی که عمق کاشت بذر از ۲ سانتی متر به ۸ سانتی متر افزایش می یابد به دو برابر افزایش یافته و نیز درصد جوانه زنی به میزان ۵۷ تا ۹۰ درصد کاهش می یابد (Tahir, 1985). نتایج آزمایشات اثرات عمق کاشت و تراکم بوته بر روی عملکرد

جدول ۱- عوامل اقلیمی محل اجرای طرح در طی سال‌های اجرا

Table 1- Climate parameters of experimental site in different years

میانگین رطوبت نسبی Relative moisture mean (%)	بارندگی Precipitation (mm)	دما Temperature (°C)			زمان Time
		متوسط Mean	حداکثر Max	حداقل Min	
		55.1	53.1	-	
51.7	23.1	-	-	-	پاییز ۱۳۸۴ Autumn 2005
69	117.7	1	7	-3.1	زمستان ۱۳۸۴ Winter 2005
54	93.6	14.7	23.1	6.3	بهار ۱۳۸۵ Spring 2006
69	140	6.9	13.4	0.3	پاییز ۱۳۸۵ Autumn 2006
83	112	-3.8	4.2	-11.8	زمستان ۱۳۸۵ Winter 2006
-	185.2	14.5	22	7.1	بهار ۱۳۸۶ Spring 2007
-	51.5	-	-	-	پاییز ۱۳۸۶ Autumn 2007
79.13	115.6	-4.4	1.8	-10.6	زمستان ۱۳۸۶ Winter 2007

- داده موجود نبود.

جدول ۲- مشخصات پروفیل خاک محل اجرای طرح در سال‌های مختلف

Table 2- Soil profile specifications of experimental site in different years

سال Year	عمق Depth (cm)	درصد کربن آلی خاک O.C%	درصد شن Sand (%)	درصد سیلت Silt (%)	درصد رس Clay (%)	بافت Texture
2005	0-30	0.39	57.8	19.5	22.7	SCL
2006	0-30	0.34	52.5	21.3	26.2	SCL
2007	0-30	0.45	51.7	18.6	29.7	SCL

خطی‌کار

در آزمایشگاه، در مخزن هر خطی‌کار بذر کاملاً تمیز و عاری از هر گونه بذر شکسته و مواد خارجی ریخته شد. سپس اهرم محرک موزع‌ها را در تعداد دور مشخصی (در هر خطی‌کار با توجه به توصیه کارخانه سازنده جهت کالیبراسیون) چرخانیده و بذور ریخته شده از هر موزع در کیسه‌های پلاستیکی جمع‌آوری شد و سپس درصد شکستگی دانه (شکستگی آشکار) اندازه‌گیری شد. جهت تعیین کل صدمات وارده به بذر (شکستگی آشکار و پنهان)، شکستگی پنهان بذور نیز مشخص شد. بدین صورت که تعداد مشخصی از بذور ریخته شده در کیسه و همچنین به همان تعداد از بذور داخل مخزن خطی‌کارها برداشته و در اتاقک رشد قرار داده شد. در اتاقک رشد، درصد جوانه‌زنی بذور خارج شده از موزع‌ها و همچنین بذور داخل مخزن مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

کود نیتروژنه از منبع اوره و فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل بر اساس آزمایش خاک، به ترتیب به میزان ۳۰ و 75 kg ha^{-1} بود. یک روز قبل از برداشت محصول جهت تعیین اجزای عملکرد و سایر صفات محصول، در سه نقطه از هر پلات کادر اندازه‌گیری شد و پارامترهای تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. جهت تعیین عملکرد دانه، ۱۰ مترمربع از هر پلات با دست برداشت و به وسیله کمباین آزمایشات دانه از کاه جدا و توزین شد.

نتایج حاصله از بررسی‌های آزمایشگاهی، مزرعه‌ای و همچنین عملکرد تیمارها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

روش تعیین میزان بذر صدمه دیده توسط موزع‌های

جدول ۳ - مشخصات فنی خطی کارها
Table 3. Technical specifications of drills

نحوه اتصال به تراکتور Manner of connection to tractor	قابلیت جایگذاری مجزای کود و بذر Separate placement ability of seed and fertilizer	روش تنظیم کود Fertilizer adjustment	روش تنظیم بذر Seed adjustment	نوع پوشاننده کود و بذر Seed and fertilizer covering device kind	نوع شیارزکن Opener kind	نوع کود Fertilizer metering device kind	نوع موزع بذر Seed metering device kind	فاصله بین ردیف‌ها Rows distance (cm)	تعداد ردیف Number of row	عرض کار Work width (cm)	ارتفاع دستگاه Total height (cm)	طول دستگاه Total length (cm)	عرض دستگاه Total width (cm)	نوع خطی کار Drill Model
کششی Drawn	دارد Yes	جعبه دنده روغنی Oil gearbox	جعبه دنده روغنی Oil gearbox	چرخهای آهنی پرسی Press iron wheel	بیلچه‌ای Shovel	غلتکی شیاردار Roller-Grooved	غلتکی شیاردار Roller-Grooved	۱۷	۱۳	۲۲۱	۱۶۵	۳۶۰	۲۵۵	برزگر همدان Hamedan barzegar
کششی Drawn	دارد Yes	چرخ دنده و زنجیر Gear and chain	چرخ دنده و زنجیر Gear and chain	چرخهای لاستیکی پرسی Press rubber wheel	بیلچه‌ای Shovel	غلتکی شیاردار Roller-Grooved	غلتکی دندانه‌دار Roller-Toothed	۲۰	۱۱	۲۲۰	۱۶۵	۳۸۰	۲۳۰	سهلان کشت Sahlan kesht
کششی Drawn	ندارد No	چرخ دنده و زنجیر Gear and chain	جعبه دنده روغنی Oil gearbox	چرخهای لاستیکی پرسی Press rubber wheel	بیلچه‌ای Shovel	غلتکی شیاردار Roller-Grooved	غلتکی دندانه‌دار Roller-Toothed	۲۵	۹	۲۲۵	۱۶۹	۴۰۲	۲۲۸	کشت گستر Kesht gostar

یکنواخت‌تر می‌باشد.

جدول ۴ - تجزیه واریانس یکنواختی ریزش بذر (دقت موزع) در سه

نوع خطی کار

Table 4- Analysis of variance of metering device precision in three kinds of drills

منابع تغییرات	درجه آزادی	بذر خروجی
S.O.V	df	Seed rate
تیمار	2	1.42 ^{ns}
اشتباه	15	1.855
کل	17	

^{ns} Non. Significant ^{ns} غیر معنی‌دار

صدمه دیدگی بذرها توسط هر واحد خطی کارها

نتایج تجزیه واریانس سه نوع خطی کار از نظر صدمه به بذر در جدول ۵ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود اثر نوع خطی کار بر درصد صدمه دیدگی بذر معنی‌دار بوده و به ترتیب خطی کارهای کشت گستر، سه‌لان کشت و همدانی کمترین صدمه را به بذر زده‌اند (شکل ۱). (Eskandari, 1997) نیز اعلام نمود که میزان شکستگی بذر در خطی کار کشت گستر کمتر از خطی کارهای جان شیرر و TZDK می‌باشد. (Eskandari *et al.*, 2008) گزارش نمودند که میزان شکستگی بذر در سه نوع خطی کار (کشت گستر، سه‌لان کشت و برزگر همدانی) مورد استفاده در استان‌های کرمانشاه و آذربایجان شرقی، پایین بوده و قابل صرفه نظر کردن می‌باشد.

عمق کاشت و فاصله بین دو ردیف کاشت در روش‌های

مختلف کاشت

عمق کاشت و فاصله دو ردیف کاشت در تیمارهای مختلف در جدول ۶ ارائه شده است.

روش تعیین یکنواختی ریزش بذر توسط موزع‌های

خطی کار

در مخزن هر خطی کار بذر بوجاری شده و یکسان ریخته شد. سپس اهرم محرک را بر اساس توصیه کارخانه تعداد دور مشخص چرخانده و بذر خارج شده از هر واحد موزع، در کیسه‌های پلاستیکی جمع‌آوری و توزین شد. این عمل با ۶ بار تکرار انجام شد. سپس داده‌های به‌دست آمده مورد مقایسه آماری قرار گرفت. غیر یکنواختی ریزش نباید بیشتر از ۵ درصد باشد (Sanacee, 1992).

تعیین عمق کاشت گندم

در هر کرت آمایشی در چند نقطه به‌صورت تصادفی و پس از جوانه‌زنی کامل، خاک کنار زده شد و محل قرارگیری بذر از سطح خاک مشخص شد.

تعیین فاصله بین ردیف‌های کشت

پس از سبز شدن کامل گندم در هر کرت به‌طور تصادفی در چند نقطه، فاصله بین دو ردیف کناری اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

یکنواختی ریزش بذر توسط هر واحد خطی کارها

نتایج تجزیه واریانس مربوط به یکنواختی ریزش بذر در واحدهای خطی کار نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سه نوع خطی کار از نظر یکنواختی ریزش بذر وجود ندارد (جدول ۴).

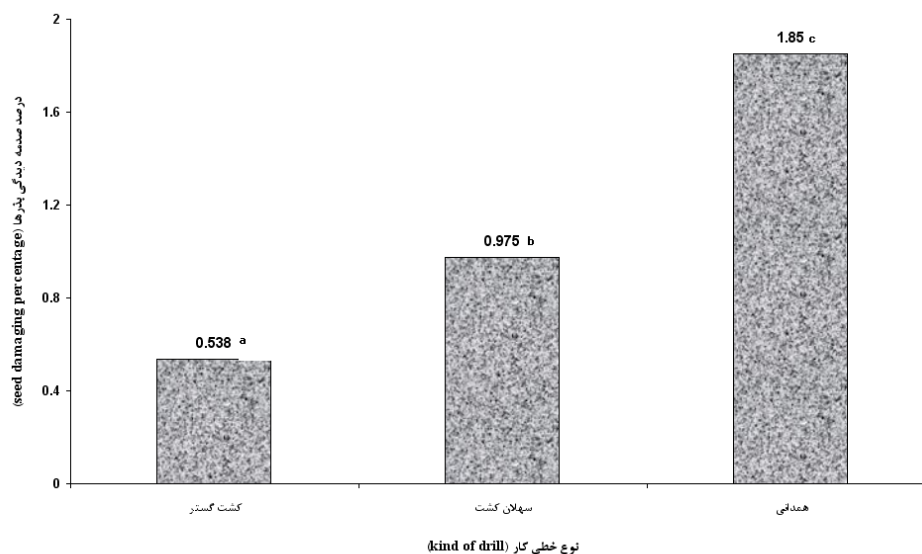
با اندازه‌گیری جداگانه مقدار ریزش بذر در هر واحد موزع خطی کارهای مورد آزمایش مشاهده شد که انحراف معیار مقدار ریزش در خطی کارهای کشت گستر، همدانی و سه‌لان کشت به‌ترتیب ۰/۷۸، ۲/۸۷ و ۳/۰۳ به‌دست آمد که بیانگر این است که ریزش بذر در خطی کار کشت گستر یکنواخت‌تر از دو خطی کار دیگر می‌باشد. (Eskandari, 1997) نیز گزارش نمود که ریزش بذر در خطی کارهای کشت گستر نسبت به خطی کارهای جان شیرر و TZDK

جدول ۵ - تجزیه واریانس صدمه دیدگی بذرها به‌وسیله خطی کارها

Table 5- Analysis of variance of seed damaging in drills

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد صدمه دیدگی بذر
S.O.V	df	Seed damage percent
تیمار	2	0.369 ^{**}
اشتباه	15	0.01
کل	17	

^{**} معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد ^{**} Significant at 1% of probability levels



شکل ۱- متوسط مقدار صدمه دیدگی بذر ها توسط خطی کارها
Fig. 1. Mean of seed damaging by drills

اختلاف بین ردیف کاشت اسمی و واقعی وجود ندارد در حالی که در خطی کار همدانی فاصله ردیف واقعی نسبت به اسمی ۱/۵ سانتی متر بیشتر و در خطی کار کشت گستر فاصله ردیف واقعی یک سانتی متر کمتر از فاصله ردیف اسمی می باشد. (Eskandari *et al.*, 2008) نیز گزارش نمودند که فاصله خطوط در کرت های کشت شده توسط خطی کارهای سهلان کشت و کشت گستر به فاصله خطوط واقعی دستگاه نزدیک تر و انحراف کمتری نسبت به خطی کار همدان برزگر داشتند.

همان گونه که مشاهده می شود عمق کاشت واقعی با عمق کاشت تنظیمی اختلاف دارد که این اختلاف در خطی کار همدانی (۳ سانتی متر) و بیشتر از دو نوع خطی کار دیگر (۲ سانتی متر) است که این اختلاف را می توان به وزن بیشتر خطی کار همدانی (۱۲۶۰ کیلوگرم) نسبت به خطی کارهای سهلان کشت (با وزن ۱۲۰۰ کیلوگرم) و کشت گستر (با وزن ۱۰۸۰ کیلوگرم) مربوط دانست. (Sidorenko, 1987) نیز علت جایگذاری عمیق بذور را سنگین بودن وزن خطی کار دانسته است. همچنین از نظر فاصله بین دو ردیف کاشت، مشاهده می شود که در خطی کار سهلان کشت هیچگونه

جدول ۶- میانگین عمق کاشت و فاصله بین ردیف کاشت در روش های مختلف کاشت

Table 6- Sowing depth mean and row spacing in different planting methods

انحراف معیار فاصله واقعی بین ردیف Standard deviation of real row distance	میانگین فاصله واقعی بین ردیف Mean of real row distance (cm)	فاصله اسمی بین ردیف Nominal row distance (cm)	انحراف معیار عمق کاشت واقعی Standard deviation of real planting depth	میانگین عمق کاشت واقعی Mean of real planting depth (cm)	عمق کاشت تنظیمی Adjusted planting depth (cm)	روش کاشت Planting method
-	-	-	1.01	6	-	دست پاشی Broadcasting
0.81	18.5	17	0.68	8	5	برزگر همدانی Hamedan barzegar
0.65	24	25	0.3	7	5	کشت گستر Kesht gostar
0.55	20	20	0.47	7	5	سهلان کشت Sahlan kesht

تأثیر روش‌های مختلف کاشت گندم دیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر روش‌های مختلف کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم طی سال‌های ۸۶-۱۳۸۳ در جدول ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه مشاهده می‌شود اثر سال بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی (دانه+کاه)، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر تیمار بر روی تعداد پنجه در بوته و تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سال در تیمار بر روی تعداد پنجه در سطح احتمال یک درصد و وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود.

بیشترین عملکرد دانه گندم با میانگین 1597 kg ha^{-1} مربوط به سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ بود که نسبت به دو سال قبل افزایش قابل توجه داشته است که این امر به دلیل افزایش بارندگی در حدود ۷۰ درصد در سال زراعی مذکور نسبت به دو سال قبل می‌باشد. میزان بارندگی در سال‌های اول، دوم و سوم اجرا به ترتیب برابر با ۲۵۸/۸، ۲۳۴/۲ و ۴۳۷/۲ میلی‌متر بود. کمترین عملکرد دانه با میانگین 879 kg ha^{-1} در سال اول اجرای طرح به دست آمد (جدول ۸).

با توجه به نتایج، اختلاف معنی‌داری بین روش‌های کاشت بر عملکرد گندم و اجزای عملکرد به جز تعداد دانه در سنبله و پنجه در بوته مشاهده نشد.

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر روش‌های کاشت بر برخی صفات زراعی گندم دیم

Table 7- Analysis of variance of effect of planting methods on some agronomic characters of dryland wheat

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیکی (دانه+کاه) Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	تعداد بوته در متر مربع Spike m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن هزار دانه 1000 grain weight (gr)	تعداد پنجه در بوته Number of tiller per plant
سال Year	2	34155944.1**	2019743.4**	6932 ^{ns}	156.6**	181.5**	6.2 ^{ns}
خطا Error	9	433227.9	81903.3	3570	4.7	17.7	2.6
تیمار Treatment	3	226530.4 ^{ns}	22275.9 ^{ns}	4472.5 ^{ns}	8.7*	2.4 ^{ns}	2.1*
سال * تیمار Y*T	6	675132.8*	156314*	1958 ^{ns}	5.4 ^{ns}	22.8*	3.1**
خطا Error	37	7412297.6	47341	2691.9	2.8	7.5	0.64

* ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

^{ns} Non. Significant

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد
^{ns} غیر معنی‌دار

جدول ۸- اثر سال بر روی برخی صفات زراعی گندم دیم (۸۶-۱۳۸۳)

Table 8- Effect of year on some agronomic characters of dryland wheat (2005-2008)

سال Year	عملکرد بیولوژیکی (دانه+کاه) Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	تعداد بوته در متر مربع Spike/ m^2	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن هزار دانه 1000 grain weight (gr)	تعداد پنجه در بوته Number of tiller per plant
2005	2239.2b	879.5b	355a	11.7b	39.7a	6.4a
2006	2776.5b	1160b	346a	10.2b	33.7b	6.3a
2007	4995.5a	1597a	386a	16.2a	34b	5.3a

میانگین‌ها، در هر ستون و برای هر سال که دارای حروف مشابه هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Mean, in each column, followed by the same letter(s) are not significantly different at 1% of probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

این دو سال بیشترین عملکرد دانه گندم را نسبت به روش‌های دیگر داشت.

نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های این تحقیق نتایج کلی زیر قابل استخراج است: یکنواختی ریزش بذر در موزع‌های خطی کار کشت گستر یکنواخت‌تر از دو خطی کار دیگر (همدانی و سهلان کشت) می‌باشد.

از نظر تعداد پنجه در بوته تیمارهای کشت گستر و شاهد در یک سطح و بیشتر از تیمارهای برزگر همدان و سهلان کشت تعداد پنجه داشتند. خطی کار کشت گستر، بیشترین تعداد دانه در سنبله با میانگین ۱۳/۹ دانه و خطی کار برزگر همدان با میانگین ۱۱/۸ دانه در سنبله کمترین مقدار را داشت (جدول ۹).
اثر روش‌های مختلف کاشت بر عملکرد دانه گندم در دو سال خشک ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴ معنی‌دار شد (جدول ۱۰). همان‌گونه که از ارقام جدول مذکور مشاهده می‌شود، خطی کار کشت گستر طی

جدول ۹- میانگین اجزا عملکرد در تیمارهای مختلف کاشت در طی ۳ سال

Table 9- Yield components mean in planting different treatments in 3 years periods

دست‌پاشی	سهلان کشت	کشت گستر	برزگر همدان	صفات
Broadcasting	Sahlan kesht	Kesht gostar	Hamedan barzegar	Characters
6.4a	5.7ab	6.2ab	5.5b	تعداد پنجه در بوته Number of tiller per plant
12.5ab	12.6ab	13.9a	11.8b	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike

میانگین‌ها، در هر ردیف که دارای حروف مشابه هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Mean, in each row, followed by the same letter(s) are not significantly different at 5 % of probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل معنی‌دار سال در تیمار بر روی عملکرد دانه گندم و برخی صفات زراعی گندم

Table 10- Mean comparison or significant intractions year * treatment on wheat yield and some agronomic character of wheats

تعداد پنجه در بوته	وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله	تعداد بوته در متر مربع	عملکرد دانه	تیمار	سال
Number of tiller per plant	1000 grain weight (gr)	Number of grain per spike	Spike/m ²	Grain yield (kg ha ⁻¹)	Treatment	Year
	38b			793b	دست‌پاش Broadcasting	2006
	39.2ab			855b	برزگر همدان Hamedan barzegar	
	42.3a			918ab	سهلان کشت Sahlan kesht	
	39.5ab			1006a	کشت گستر Kesht gostar	
7.3a		10b	357ab	1435a	دست‌پاش Broadcasting	2007
5.1b		9b	381a	937b	برزگر همدان Hamedan barzegar	
5.3b		9b	334bc	1036b	سهلان کشت Sahlan kesht	
7.5a		13a	311c	1232ab	کشت گستر Kesht gostar	

در سال‌های خشک ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴، اثر روش‌های کاشت بر عملکرد دانه گندم معنی‌دار شد و خطی‌کار کشت گستر نسبت به خطی‌کارهای همدانی و سه‌لان کشت و روش مرسوم، بیشترین عملکرد گندم را داشت.

میزان صدمه مکانیکی وارده به بذرها توسط موزع‌ها، در خطی‌کار کشت گستر کمتر از دو نوع خطی‌کار دیگر بود (معنی‌دار بود). که این می‌تواند از علل افزایش جزیی عملکرد دانه گندم در خطی‌کار کشت گستر نسبت به دو خطی‌کار دیگر باشد.

منابع

1. Anonymouse. 1993. Research Report. Kermanshah Agricultural Research Center. N: 85.P:32. (In Farsi).
2. Eskandari, I. 1997. Selection of proper drill for wheat in dryland. Research Report. Dryland Agricultural Research Institute. N.542. (In Farsi).
3. Eskandari, I., A. Yavari, and A. Khosravani. 2008. Selection of proper drill for wheat in dryland. Research Report. Dryland Agricultural Research Institute. N.1190. (In Farsi).
4. Godwin, R. J. 1990. Agricultural engineering in development tillage for crop production in areas of low rainfall. FAO Agricultural Service, 83:100-110.
5. Laffond, G. P., and B. D. fower. 1989. Soil temperature and water content, seeding depth and simulated rainfall on winter wheat emergence. Agronomy Journal, 81:609-614.
6. Sanaee, A. 1992. Principle of planting machines. University Publications. Tehran. (In Farsi).
7. Sidorenko. 1987. Agricultural Scientific Journal. N.4. P.22. Moskou.
8. Tahir, M. 1985. High elevation cereal research. In ICARDA. Annual, Report.P. 151-157.

مطالعه آزمایشگاهی حساسیت دو رقم میوه توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa*) به کوفتگی

سعیدعلی عسگریان نجف آبادی^{۱*} - حمیدرضا قاسم زاده^۲ - محمد مقدم^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۱۱

چکیده

در تحقیق حاضر حساسیت دو رقم میوه توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa*) سلوا و گاویتا به کوفتگی به صورت آزمایشگاهی مطالعه شد. میوه‌ها به صورت تک تک در معرض نیروهای ضربه‌ای و فشاری قرار گرفتند. ضربه با استفاده از روش سقوط از ارتفاع از پیش تعیین شده و پاندول اعمال شد. حجم کوفتگی به عنوان شاخص آسیب‌دیدگی مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر دو نوع ضربه شدت کوفتگی به عنوان تابعی از انرژی ضربه افزایش یافت. در سطوح انرژی مشابه میوه‌های سقوط کرده نسبت به میوه‌های قرار گرفته در معرض ضربه به وسیله ضربه زن پاندولی حجم کوفتگی بیشتری را از خود نشان دادند. چهار برابر شدن انرژی ضربه (از ۰/۰۲۲ به ۰/۰۸۲ ژول) موجب سه برابر شدن حجم کوفتگی (از ۴۶ به ۱۳۴/۵ میلی‌متر مکعب) شد. با افزایش ارتفاع سقوط از ۱۸ سانتی‌متر (۰/۰۲۶ ژول) به ۵۴ سانتی‌متر (۰/۰۷۹ ژول) حجم کوفتگی ۳۵ درصد افزایش یافت. شدت کوفتگی ناشی از نیروی فشاری نسبت به دو آزمون دیگر بیشتر بود. دو برابر کردن زمان بارگذاری از ۲ ثانیه به ۴ ثانیه اختلاف معنی‌داری در میزان کوفتگی را نشان نداد. اگرچه در تمام آزمون‌ها رقم گاویتا نسبت به سلوا حساسیت بیشتری به کوفتگی نشان داد ولی تنها در آزمون ضربه به وسیله ضربه زن پاندولی اثر فاکتور رقم معنی‌دار شد.

واژه‌های کلیدی: توت‌فرنگی، سقوط، ضربه، فشار، کوفتگی

مقدمه

صدمات مکانیکی در حین فرآیندهای برداشت و پس از برداشت موجب تغییرات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی محصولات شده و کیفیت آن‌ها را کاهش می‌دهد (Shewfelt, 1998). این صدمات به عنوان معمول‌ترین و شدیدترین عیوب محصولات کشاورزی شناخته می‌شوند و اساساً به واسطه ایجاد تغییرات نامطلوب در خصوصیات کیفی (قهوه‌ای شدن رنگ پوست و گوشت میوه و از بین رفتن رایحه و طعم) و واکنش‌های منجر به فساد داخلی دارای اثرات اقتصادی نامطلوب هستند (Castillo, 1992).

محققان دو نوع مختلف از عوامل ایجاد کننده صدمات مکانیکی را در حین فرآیند پس از برداشت ذکر کرده اند: الف) ضربات وارده در حین برداشت، انتخاب، فرآوری و انتقال و ب) بارهای فشاری وارده در

خطوط بسته‌بندی و انبارسازی (Bollen et al., 1995). مهمترین نوع صدمات مکانیکی کوفتگی می‌باشد که از متداول‌ترین تلفات پس از برداشت نیز محسوب می‌شود. تاکنون عوامل متعددی به عنوان فاکتورهای تأثیرگذار بر حساسیت میوه به کوفتگی و چگونگی پاسخ میوه به تنش‌های مکانیکی شناخته شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به رقم و نحوه تولید میوه، روش‌های برداشت، فرآوری و انتقال، چگونگی استفاده از ماشین‌آلات در حین عملیات پس از برداشت، مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت، فاصله زمانی بین برداشت میوه و قرارگیری در معرض عوامل ایجاد کننده کوفتگی، دمای داخلی میوه، اندازه و سفتی میوه و حتی مساحت محل قرار گرفته در معرض تنش‌های مکانیکی اشاره کرد (Ericsson and Tahir, 1996; Thiagu et al., 1993; Hung and Prussia, 1989).

تاکنون مطالعات مربوط به کوفتگی بیشتر بر روی محصولاتی همچون سیب (Golacki et al., 2009; Zarifneshat et al., 2010)، هلو (Ahmadi et al., 2010) و گلابی (Chen et al., 1986) متمرکز بوده است. اما میوه توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa*) به لحاظ صدمات مکانیکی و حساسیت به کوفتگی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

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

۲- استاد مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- استاد مهندسی زراعت و اصلاح نبات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

متوسط قطر $۰/۳۵۲ \pm ۲۸/۳۶$ و $۰/۲۸۷ \pm ۲۷/۲۰$ میلی‌متر و چگالی حقیقی متوسط $۵/۲۰۶ \pm ۹۷۲/۸۸۰$ و $۵۱/۰۲۴ \pm ۱۰۰۱/۴۹۲$ مورد استفاده قرار گرفت. این دو رقم از ارقام تجاری متداول در ایران می‌باشند. نمونه‌های مورد نیاز در برهه‌های زمانی مختلف بسته به زمان بندی آزمایشات و در ماه‌های اردیبهشت و خرداد تهیه شدند. محل تولید هر دو رقم توت‌فرنگی گلخانه‌ای در روستای جانقور از توابع شهر تبریز بود. نمونه‌های مورد نیاز در مرحله رسیدگی کامل و بلافاصله قبل از هر آزمایش برداشت و با احتیاط به آزمایشگاه حمل شدند. نمونه‌ها در آزمایشگاه به صورت چشمی بررسی و میوه‌های دارای آسیب اولیه و نیز مواد خارجی کنار گذاشته شدند. همه آزمایشات قبل از ظهر انجام شد.

محتوای رطوبتی اولیه توت‌فرنگی‌های تازه با استفاده از روش آن تعیین شد. برای به‌دست آوردن جرم خشک، نمونه‌های ۲۰ گرمی در چهار تکرار به مدت ۲۴ ساعت درون آن با دمای ۷۵ ± ۲ درجه سانتیگراد قرار داده شدند (Doymaz, 2007). برای اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها قبل و بعد از قرارگیری در آن، از ترازوی دیجیتالی با دقت $۰/۰۰۱$ گرم استفاده شد. محتوای رطوبتی اولیه برای دو رقم سلوا و گاویتا به ترتیب $۹۱/۰۷$ و $۹۳/۱۶$ درصد (بر اساس وزن خشک) تعیین شد. آزمون‌های ضربه و فشار در دمای اتاق (۲۳ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت طبیعی محصول انجام گرفت. رطوبت نسبی محیط در هنگام انجام آزمایشات ۵۶ درصد بود.

آزمون ضربه با استفاده از ضربه‌زن پاندولی

برای انجام این آزمون از دستگاه ضربه‌زن پاندولی استفاده شد. میوه‌ها به‌وسیله یک گلوله فولادی (با قطر ۲۰ میلی‌متر و جرم $۳۳/۶۳$ گرم) تحت ضربه قرار گرفتند. میوه‌ها به صورت تک تک درون کیسه توری آویزان شده از نقطه آویزان شدن گلوله قرار داده می‌شدند. به‌منظور کنترل ضربه وارده توسط گلوله به میوه از یک تکیه‌گاه چوبی تعبیه شده در پشت میوه‌ها استفاده شد (شکل ۱). میزان انرژی وارده به میوه‌ها با استفاده از رابطه (۱) تخمین زده شد.

$$E = mgh \quad (1)$$

که در این رابطه m و g به‌ترتیب جرم گلوله بر حسب گرم و شتاب گرانشی بر حسب متر بر مجذور ثانیه می‌باشد. h اختلاف ارتفاع میوه و گلوله قبل از رها شدن است که با استفاده از رابطه (۲) تعیین می‌شود.

$$h = r - r \cos \theta \quad (2)$$

در این رابطه r طول ریسمان نگاه‌دارنده گلوله بر حسب سانتی‌متر و θ زاویه‌ی رهاسازی گلوله بر حسب درجه می‌باشد.

توت‌فرنگی (*Fragaria x ananassa*) به واسطه نرمی، آسیب‌پذیری بالا نسبت به صدمات مکانیکی، آهنگ تنفس بالا و حساسیت به آلودگی‌های قارچی میوه‌ای فوق‌العاده فسادپذیر می‌باشد (Dennis, 1978; Kader, 1999). بنابراین توت‌فرنگی‌های تازه دارای عمر محدود پس از برداشت بوده و تنها برای مدت زمان بسیار محدود دارای قابلیت انبارداری می‌باشند.

عملیات برداشت و پس از برداشت توت‌فرنگی مورد مصرف برای تازه‌خوری به شکل دستی صورت می‌گیرد و تنها میوه مورد استفاده در فرآوری و تولید محصولات جانبی ممکن است با استفاده از ماشین برداشت شود (Ferreira et al., 2008). مزیت انجام شدن دستی مراحل ذکر شده کاهش دفعات حمل و نقل و جابه‌جایی محصول می‌باشد. از طرف دیگر در سیستم برداشت دستی اهمیت و مسئولیت بیشتری متوجه برداشت‌کننده می‌باشد (Sherman, 1988) و اگر میوه بر اساس یک استاندارد صحیح برداشت نشود از بازارپسندی محصول کاسته خواهد شد (Maynard et al., 1988). در حال حاضر عملیات برداشت منشأ اصلی صدمات مکانیکی وارده به توت‌فرنگی می‌باشد (Ferreira et al., 2008). میزان تلفات محصول برداشت شده توسط کارگر بی‌دقت و کارگر دارای آموزش کافی به ترتیب $۳۳/۷$ و $۱۴/۴$ درصد گزارش شده است (Mitchell et al., 1964). هر یک از سه عامل ضربه، فشار و لرزش ممکن است موجب ایجاد کوفتگی در محصول شوند (Brusewitz et al., 1991).

پارامترهایی مانند اندازه، رقم و مرحله رسیدگی بر پاسخ میوه توت‌فرنگی به فشار تأثیرگذار هستند (Jamieson et al., 2002). گزارش شده است که توت‌فرنگی‌های کوچک نسبت به توت‌فرنگی‌های متوسط و بزرگ در مقابل فشار سفت‌تر و مقاوم‌تر می‌باشند (Ourecky and Bourne, 1968). میوه‌های رسیده توت‌فرنگی نسبت به میوه‌های صورتی نرم‌تر است (Doving and Mage, 2002) ولی اختلاف معنی‌داری در میزان سفتی میوه‌های رسیده و بیش از حد رسیده مشاهده نشده است (Ourecky and Bourne, 1968).

اهداف تحقیق حاضر شامل موارد زیر می‌باشد:

مطالعه عوامل اصلی ایجادکننده کوفتگی در حین فرآیند برداشت و پس از برداشت. بررسی اثرات فاکتورهای رقم و شدت نیروهای وارده بر میزان کوفتگی مشاهده شده در میوه.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه دو رقم توت‌فرنگی سلوا و گاویتا به‌ترتیب با متوسط جرم تقریبی $۰/۳۷۲ \pm ۱۴/۸۸$ و $۰/۶۰۳ \pm ۱۵/۱۷$ گرم،



شکل ۲- دستگاه تست سقوط

Fig.2. Drop test apparatus

با توجه به فراوانی جرمی دو رقم توت‌فرنگی تحت آزمایش توت‌فرنگی‌های دارای جرم تقریبی ۱۵ گرم برای آزمون سقوط انتخاب شدند. به منظور مطالعه حساسیت میوه توت‌فرنگی نسبت به شکل‌های مختلف ضربه سطوح انرژی در آزمون سقوط تقریباً مشابه با سطوح انرژی در آزمون ضربه در نظر گرفته شد. برای امتناع از حرکت چرخشی میوه‌ها در لحظه رهاسازی آنها به وسیله نوار چسب به ریسمان متصل و از روی شاخص ارتفاع بر روی صفحه سقوط رها می‌شدند. ارتفاع سقوط از مرکز میوه در نظر گرفته شد. میوه‌ها پس از برخورد با صفحه و قبل از برخورد دوباره با دست گرفته می‌شدند. برای مشخص شدن محل برخورد میوه با صفحه سقوط پودر سفید رنگی بر روی صفحه پاشیده شد (Ferreira et al., 2008). سطوح هر یک از فاکتورهای آزمون سقوط در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۱- ضربه‌زن پاندولی

Fig.1. Pendulum impactor

به منظور تعیین انرژی ضربه اولیه ایجاد کننده آسیب در میوه‌ها (آستانه تحمل) آزمون‌های اولیه انجام شد. این آزمون‌ها در شرایط مشابه با آزمون‌های اصلی و به تعداد ۳۰ دفعه انجام گرفت. سطوح انرژی ضربه به گونه‌ای تعیین شد که پایین‌ترین سطح انرژی برابر آستانه تحمل میوه باشد. دو سطح دیگر انرژی به شکلی انتخاب شدند که موجب آسیب شدید در میوه نشوند (میوه تمایل به از هم گسیختگی پیدا نکند). سطوح هر یک از فاکتورهای آزمون ضربه در جدول ۱ آورده شده است.

آزمون سقوط

برای انجام آزمون سقوط از دستگاهی شامل یک صفحه‌ی آهنی صلب با ابعاد ۲۵ × ۳۵ سانتی‌متر و به وزن تقریبی ۱۲ کیلوگرم، میله عمودی پیچ شده روی صفحه، متر نصب شده روی میله عمودی و یک شاخص ارتفاع افقی نصب شده بر روی میله عمودی استفاده شد.

جدول ۲- سطوح فاکتورهای آزمون سقوط

Table 2- The levels of drop test factors

سطوح Levels	فاکتور Factor
سلوا (Selva)	رقم Variety
گاویتا (Gaviota)	
0.026 ژول (18 سانتی‌متر) (0.026 Joule- 18 Centimeter)	انرژی سقوط Drop energy
0.049 ژول (34 سانتی‌متر) (0.049 Joule- 34 Centimeter)	
0.079 ژول (54 سانتی‌متر) (0.079 Joule- 54 Centimeter)	

جدول ۱- سطوح فاکتورهای آزمون ضربه

Table 1- The levels of impact test factors

سطوح Levels	فاکتور Factor
سلوا (Selva)	رقم Variety
گاویتا (Gaviota)	
0.022 ژول (30 درجه) (0.022 Joule- 30 Degree)	انرژی ضربه Impact energy
0.049 ژول (45 درجه) (0.049 Joule- 45 Degree)	
0.082 ژول (60 درجه) (0.082 Joule- 60 Degree)	

آزمون فشار

$$V = \frac{1}{3} (\pi \left[\frac{d^2}{2} \right] W) \quad (3)$$

تحلیل آماری

همه آزمون‌ها به صورت فاکتوریل بر مبنای بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای تحلیل داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد. مقایسه میانگین بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

آزمون ضربه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اختلاف معنی‌دار در حجم کوفتگی را نشان داد و اثرات مربوط به هر دو فاکتور انرژی ضربه و رقم معنی‌دار شدند (جدول ۴). از طرفی اثر متقابل دو فاکتور معنی‌دار نشد و بنابراین این دو فاکتور به صورت مستقل از هم عمل کرده و اثرگذاری فاکتور دیگر را تحت تأثیر قرار ندادند.

مقایسه میانگین سطوح فاکتور انرژی ضربه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار بین هر سه سطح انرژی را نشان داد (جدول ۵). مقادیر متوسط کوفتگی برای دو رقم سلوا و گاویتا به ترتیب برابر ۸۴/۵۲ و ۱۰۲/۰۵ میلی‌متر مکعب به دست آمد. با توجه به معنی‌داری اثر فاکتور رقم و نیز متوسط کوفتگی به دست آمده برای هر رقم می‌توان گفت که رقم گاویتا در مقابل صدمات آسیب‌پذیرتر می‌باشد و در مقایسه با رقم سلوا به میزان ۲۰ درصد آسیب بیشتر از خود نشان داده است.

چهار برابر شدن انرژی ضربه (از ۰/۰۲۲ به ۰/۰۸۲ ژول) موجب سه برابر شدن حجم کوفتگی (از ۴۶ به ۱۳۴/۵ میلی‌متر مکعب) شده است.

جدول ۳- سطوح فاکتورهای آزمون فشار

Table 3- The levels of compression test factors

سطوح	فاکتور
سلوا (Selva)	رقم Variety
گاویتا (Gaviota)	
3.339 نیوتن - 2 ثانیه (3.339 Newton- 2 Second)	میزان بارگذاری Loading amount
3.339 نیوتن - 4 ثانیه (3.339 Newton- 4 Second)	
3.968 نیوتن - 2 ثانیه (3.968 Newton- 2 Second)	

آزمون فشار با استفاده از دستگاه ساخته شده در گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شد (شکل ۳). برای انجام آزمون میوه‌ها بر روی صفحه صلب دستگاه قرار گرفته و بارگذاری با استفاده از وزنه‌های آویزان شده با ریسمان نایلونی از درون لوله راهنمای دستگاه صورت گرفت. در انتهای وزنه‌ها پروب با انتهای محذب به قطر ۱۵ میلی‌متر متصل شده بود.

با توجه به آزمون‌های اولیه میزان بار ایجاد کننده آستانه آسیب در میوه‌ها تعیین شد. به منظور مطالعه اثر مدت زمان بارگذاری این عامل نیز در سطوح فاکتور میزان بارگذاری دخالت داده شد. با توجه به آسیب‌دیدگی مشاهده شده در زمان‌های بارگذاری مختلف و عدم تمایل به از هم گسیختگی میوه دو زمان بارگذاری ۲ و ۴ ثانیه انتخاب شد. سطوح هر یک از فاکتورهای آزمون فشار در جدول ۳ آورده شده است.

برآورد میزان کوفتگی

حجم کوفتگی به عنوان شاخص آسیب‌دیدگی مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از انجام آزمون‌ها، به منظور ارزیابی کوفتگی میوه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آنکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد نگهداری شدند. پس از پایان دوره نگهداری عرض کوفتگی (W) در دو راستای عمود بر هم اندازه‌گیری و از آن‌ها میانگین گیری شد. سپس میوه‌ها از وسط ناحیه کوفتگی برش داده شدند و عمق کوفتگی (d) تعیین شد. اندازه‌گیری‌ها به وسیله کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر صورت گرفت. حجم کوفتگی با فرض مخروطی بودن شکل کوفتگی با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Ferreira *et al.*, 2008).



شکل ۳- دستگاه آزمون فشار

Fig. 3. Compression test apparatus

جدول ۵- مقایسه میانگین سطوح فاکتور انرژی ضربه با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

Table 5- Mean comparison of impact energy factor levels using Duncan test (p= 5%)

متوسط کوفتگی Average of bruising (mm ³)	سطوح فاکتور انرژی ضربه Levels of impact energy factor
48.205a	0.022 ژول (30°) (0.022 Joule- 30 degree)
83.143b	0.049 ژول (45°) (0.049 Joule- 45 Degree)
148.520c	0.082 ژول (60°) (0.082 Joule- 60 Degree)

حروف لاتین مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اختلاف در سطح یک درصد می‌باشد.

این مطالعه توت‌فرنگی‌ها به مسافت ۱۶۰۰ کیلومتر در ۶ مرحله انتقال داده شده‌اند و آسیب ۶۶ تا ۹۹ درصدی برای توت‌فرنگی‌های نیمه رنگ گرفته و رسیده گزارش شده است. مقایسه میزان کوفتگی برای آزمون‌های ضربه و سقوط حساسیت بیشتر توت‌فرنگی نسبت به سقوط را نشان داد. به عنوان مثال برای سطح انرژی ۰/۰۴۹ ژول کوفتگی ناشی از سقوط در رقم گاویتا و سلوا به ترتیب ۳/۰۵ و ۳/۳۴ برابر کوفتگی ایجاد شده در اثر ضربه بود. به نظر می‌رسد حساسیت بیشتر توت‌فرنگی نسبت به سقوط به ساختار بافت توت‌فرنگی مربوط باشد که برای روشن شدن موضوع به مطالعه ساختاری بافت توت‌فرنگی نیاز می‌باشد. Ferreira *et al.* (2008) در مطالعه‌ای بر روی حساسیت میوه توت‌فرنگی در مقابل صدمات نتایج مشابه با نتایج مطالعه حاضر را گزارش کرده‌اند.

جدول ۷- مقایسه میانگین سطوح فاکتور ارتفاع سقوط با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

Table 7- Mean comparison of drop height factor levels using Duncan test (p= 5%)

متوسط کوفتگی Average of bruising (mm ³)	سطوح فاکتور ارتفاع سقوط Levels of drop height factor
214.10a	0.026 ژول (18 cm) (0.026 Joule- 18 Centimeter)
241.40a	0.049 ژول (34 cm) (0.049 Joule- 34 Centimeter)
295.54b	0.079 ژول (54 cm) (0.079 Joule- 54 Centimeter)

حروف لاتین مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

جدول ۴- تجزیه واریانس آزمون ضربه

Table 4- The variance analysis of impact test

میانگین مربعات Mean squares	درجات آزادی Degrees of freedom	منبع Source
0.159**	1	رقم Variety
2.171**	2	انرژی ضربه Energy
0.073	2	انرژی × رقم Energy Variety ×
0.031	114	خطا Error

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، داده‌ها نرمال شده‌اند.

** Significant at 1%

آزمون سقوط

نتایج تجزیه واریانس اختلاف معنی‌دار بین تیمارها را نشان داد. چون اثر فاکتور رقم معنی‌دار نشده است، معنی‌داری اختلاف بین تیمارها را تنها می‌توان به اثرگذاری متفاوت سطوح ارتفاع سقوط مربوط دانست (جدول ۶).

نتایج مربوط به مقایسه میانگین سطوح فاکتور ارتفاع سقوط بر اساس آزمون دانکن در جدول ۷ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده دو سطح ابتدایی ارتفاع (۱۸ و ۳۴ سانتی‌متر) فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند و تنها سطح ابتدایی سوم با دو سطح دیگر دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد و با افزایش ارتفاع سقوط از ۱۸ سانتی‌متر (۰/۰۲۶ ژول) به ۵۴ سانتی‌متر (۰/۰۷۹ ژول) حجم کوفتگی ۳۵ درصد افزایش یافت.

Schoorl (1974) گزارش کرده است که در انتقال توت‌فرنگی میزان کوفتگی میوه با افزایش ارتفاع و تعداد سقوط بالا می‌رود. در

جدول ۶- تجزیه واریانس آزمون سقوط

Table 6- The variance analysis of drop test

میانگین مربعات Mean squares	درجات آزادی Degrees of freedom	منبع Source
17157	1	رقم Variety
68720**	2	ارتفاع سقوط Height drop
227	2	ارتفاع × رقم Height × Variety
8023	114	خطا Error

** معنی‌دار در سطح یک درصد

** Significant at 1%

آزمون فشار

محتوای سلولی خارج شود (Vincent, 1990). تحت بار استاتیک، میکرو فیبریل‌های موجی راست شده و نسبت به یکدیگر می‌لغزند در حالی که ضربه باعث راست شدن میکرو فیبریل‌ها و گسیختن آن‌ها می‌شود (Holt and Schoorl, 1976; 1982). بنابراین، چون انرژی بیشتری برای شکستن میکرو فیبریل‌ها در حین ضربه مصرف می‌شود کوفتگی ایجاد شده در مقایسه با بار فشاری کمتر است (Holt and Schoorl, 1976).

نتیجه‌گیری

مقایسه کوفتگی ناشی از سه عامل مورد مطالعه نشان داد که عامل ضربه نسبت به دو عامل دیگر آسیب کمتری به محصول وارد آورده است. برای هر سه عامل با افزایش میزان انرژی وارد و فشار میزان کوفتگی توت‌فرنگی افزایش پیدا کرد. به غیر از عامل ضربه برای دو عامل دیگر فاکتور رقم میوه تأثیری در آسیب مشاهده شده نداشته است. علت این عدم تأثیرگذاری ممکن است مشابهت‌های بافتی دو رقم باشد و یا اینکه دو عامل فشار و سقوط واقعاً تحت تأثیر فاکتور رقم نمی‌باشد.

با توجه به مشاهدات به نظر می‌رسد که در حین فرآیند برداشت و پس از برداشت و در طراحی تجهیزات باید توجه ویژه‌ای به عامل فشار شود. خصوصاً در مورد ظروف مزرعه‌ای مورد استفاده برای برداشت و نیز بسته‌بندی‌های مورد استفاده برای ارائه محصول به بازار عامل فشار دارای پتانسیل آسیب‌رسانی بالایی می‌باشد.

جدول ۹- مقایسه میانگین سطوح فاکتور فشار با آزمون دانکن در

سطح احتمال ۵ درصد

Table 9- Mean comparison of compression factor levels using Duncan test (p= 5%)

متوسط کوفتگی Average of bruising (mm ³)	سطوح فاکتور فشار Levels of pressure factor
329.45a	3.339 نیوتن-2 ثانیه (3.339 Newton- 2 Second)
385.98ab	3.339 نیوتن-4 ثانیه (3.339 Newton- 4 Second)
453.91b	3.968 نیوتن-2 ثانیه (3.968 Newton- 2 Second)

حروف لاتین مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

تجزیه واریانس داده‌ها اختلاف معنی‌دار در عملکرد تیمارها را نشان داد و تنها اثر فاکتور میزان بارگذاری در آزمایش معنی‌دار شد (جدول ۸). مقایسه میانگین سطوح فاکتور فشار تنها اختلاف معنی‌دار بین دو سطح ابتدایی و انتهایی را نشان داد. عدم معنی‌دار شدن اختلاف سطوح اول (۳/۳۳۹ نیوتن- ۲ ثانیه) و دوم (۳/۳۳۹ نیوتن- ۴ ثانیه) نشان داد که افزایش ۲ ثانیه‌ای در زمان بارگذاری بر روی میزان کوفتگی اثر معنی‌داری نداشته است (جدول ۹).

Holt and Schoorl (1982) همبستگی قوی بین حجم کوفتگی و انرژی جذب شده برای ضربه و فشار شبه ایستایی وارده به دو رقم توت‌فرنگی Redlands Earlisweet و Redlands Crimson به دست آوردند. آن‌ها گزارش کرده‌اند که بافت توت‌فرنگی در مقابل فشار آسان‌تر از ضربه دچار کوفتگی می‌شود. برای میزان انرژی مشابه حجم کوفتگی ناشی از فشار تقریباً ۴۰ درصد بالاتر بوده است.

آسیب‌های ناشی از ضربه و فشار ممکن است با ساختار دیواره سلولی در ارتباط باشد. ضربات باعث شکست پیوندهای درون سلولی یا گسستگی سلول‌ها می‌شود، در حالی که فشردگی تحت بار ثابت دیواره سلولی ویسکوالاستیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که موجب ترکیدن سلول تحت فشارهای بالا می‌شود. این رفتار حجم کوفتگی کمتر میوه در اثر اعمال ضربه را توجیه می‌کند. کوفتگی‌های ناشی از فشردگی معمولاً در راستای نیرو ایجاد و به صورت خطی از سلول‌ها نمایان می‌شوند که دیواره سلولی خم و شکسته شده که اجازه می‌دهد

جدول ۸- تجزیه واریانس آزمون فشار

Table 8- The variance analysis of compression test

میانگین مربعات Mean squares	درجات آزادی Degrees of freedom	منبع Source
24397	1	رقم Variety
155340**	2	فشار Pressure
14501	2	فشار × رقم × Variety
27263	114	Pressure خطا Error

** معنی‌دار در سطح یک درصد

** Significant at 1%

منابع

- Ahmadi, E., H. R. Ghassemzadeh, M. Sadeghi, M. Moghaddam, and S. Z. Neshat. 2010. The effect of

- impact and fruit properties on the bruising of peach. *Journal of Food Engineering*, 97 (1): 110-117.
2. Bollen, A., I. M. Woodhead, and B. T. Dela Rue. 1995. Compression forces and damage in the postharvest handling system. ASAE, Guanajuato, Mexico: 168- 175.
 3. Brusewitz, G. H., T. G. Mccollum, and X. Zhang. 1991. Impact bruise resistance of peaches. *Transactions of the ASAE* 34: 962-965.
 4. Castillo, S. 1992. Study of the distribution, visibility and physical properties of citrus tree and its influence in the design collection of robotic systems. Ph.D. Dissertation, University of Politécnic, Valencia.(In Spanish).
 5. Chen, P., M. Ruiz, F. Lu, and A. A. Kader. 1986. Study of impact and compression damage on Asian pears. *Transactions of the ASAE* 30 (4):1193-1197.
 6. Dennis, C. 1978. Post-harvest spoilage of strawberries. *ARC Res, Rev* 4 (2): 38-42.
 7. Doving, A., and F. Mage. 2002. Methods to testing strawberry fruit firmness. *Acta Horticulturae Scandinavia*, 52: 43-45.
 8. Doymaz, I. 2007. Influence of pretreatment solution on the drying of sour cherry. *Journal of Food Engineering*, 78 (2): 591-596.
 9. Ericsson, N. A., and I. I. Tahir. 1996. Studies on apple bruising: II. The effects of fruit characteristics, harvest date and precooling on bruise susceptibility of three apple cultivars. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science*, 46 (4): 214-217.
 10. Ferreira, M. D., S. A. Sargent, J. K. Brecht, and C. K. Chandler. 2008. Strawberry fruit resistance to simulated handling. *Scientia Agricola*. 65:490-495.
 11. Golacki, K., G. Bobin, and Z. Stropiek. 2009. Bruise resistance of apples (melrose variety). *TEKA Kom. Mot. Roln.-OLPAN*, 9: 40-47.
 12. Holt, J. E., and D. Schoorl. 1976. Bruising and energy dissipation in apples. *Journal of Texture Studies*, 7: 411-432.
 13. Holt, J. E., and D. Schoorl. 1982. Starwberry bruising and energy dissipation. *Journal of Texture Studies*, 13 (3): 349-357.
 14. Hung, Y. C., and S. E. Prussia. 1989. Effect of maturity and storage time on the bruise susceptibility of peaches (Cv. Red Globe). *Transactions of the ASAE*, 32:1377-1382.
 15. Jamieson, A. R., C. F. Forney, J. Richards, and K. U. K. G. Nicholas. 2002. Strawberry fruit characteristics that contribute to postharvest post-harvest quality. *Acta Horticulturae*, 567: 723-726.
 16. Kader, A. A. 1999. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta Horticulturae*, 485: 203-208.
 17. Maynard, D. N., M. Sherman, and G. J. Hochmuth. 1988. Strawberry production guide for Florida: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
 18. Mitchell, F. G., E. C. Maxie, and A. S. Greahe. 1964. Handling strawberries for fresh market. Davis: University of California, 16p.
 19. Ourecky, D. K., and M. C. Bourne. 1968. Measurement of strawberry texture with an instron machine. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 93: 317-325.
 20. Schoorl, D. 1974. Packaging of and mechanical damage to fruit. Master of Agricultural Science Thesis, Department of Agriculture, University of Queensland.
 21. Sherman, M. 1988. Harvesting and handling. In: G. J. Hochmuth (ed), *Strawberry production guide for Florida*. Gainesville: Florida Cooperative Extension Service-University of Florida, 14-17. (Circular, 142C).
 22. Shewfelt, R. L. 1998. Stress physiology: A cellular approach to quality. In R. L. Shewfelt and S. E. Prussia (ed). *Postharvest Handling*. Academic Press Inc., San Diego, CA: 257-276.
 23. Thiagu, R., N. Chand, and K. V. R. Ramana. 1993. Evolution of mechanical characteristics of tomatoes of two varieties during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62 (2):175-183.
 24. Vincent, J. F. V. 1990. Fracture properties of plants. In: Callow, J. A. (Ed.) *Advances in botanical research*: London: Academic Press. cap.17: 235-287.
 25. Zarifneshat, Z., H. R. Ghassemzadeh, M. H. Abbaspour-Fard, M. Sadeghi, E. Ahmadi, A. Javadi, and M. T. Shervani-Tabar. 2010. Effect of impact level and fruit properties on Golden Delicious apple bruising. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5 (2): 114-121.

بررسی بسامدهای طبیعی میوه سیب با استفاده از روش آنالیز مودال اجزای محدود

رمضان میرزایی^{۱*} - سعید مینایی^۲ - محمد هادی خوش تقاضا^۳ - علی محمد برقی^۴

تاریخ دریافت: ۹۰/۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۸

چکیده

مهمترین نمایشگر کیفیت میوه سفتی می‌باشد، که وابستگی زیادی با ضریب کشسانی دارد. در این تحقیق، تغییرات خصوصیات ارتعاشی (شکل مود و بسامد طبیعی) میوه سیب ناشی از تغییر خصوصیات ماده سیب (ضریب کشسانی، ضریب پواسون، چگالی و حجم) به وسیله روش اجزای محدود آنالیز مودال بررسی شده است. روش جدید پردازش تصویر برای ایجاد مدل سه بعدی غیر کروی و غیر متقارن میوه بکار رفته است. شکل دقیق و سه بعدی میوه با اندازه گیری مختصات نقاط سطح بیرونی میوه و ایجاد منحنی‌های دوار غیر یکنواخت از این نقاط و تشکیل سطح و حجم از این منحنی‌ها ایجاد گردیده است. آنالیز مودال به صورت شرایط مرزی آزاد انجام گرفته و ۲۰ مود اول و بسامدهای طبیعی میوه به دست آمد. شش مود اول دارای بسامدهای نزدیک به صفر بوده که مربوط به شش درجه آزادی هر جسم در فضا بوده و نشان دهنده صحت مدل اجزای محدود می‌باشد. اولین مود پیچشی با میانگین ۵۸۴ هرتز حاصل گردید. نتایج حاصل از آنالیز مودال نشان داد که بسامد تشدید با اضافه شدن ضریب کشسانی افزایش و با افزایش چگالی کاهش می‌یابد. اثر تغییرات پارامترهای ضریب کشسانی، چگالی و ضریب پواسون بر اولین بسامد تشدید به ترتیب ۸۵ درصد ۱۱ درصد و ۴ درصد به دست آمد. ضریب تغییرات بسامد تشدید نسبت به تغییرات ضریب کشسانی در حدود ۳-۲ برابر ناشی از تغییرات پارامتر چگالی می‌باشد، که نشان دهنده بیشترین اثر تغییرات ضریب کشسانی بر تغییر بسامد طبیعی میوه می‌باشد. با تعیین بسامد طبیعی میوه می‌توان ضریب کشسانی و سفتی میوه را تخمین زد.

واژه های کلیدی: آنالیز مودال، روش اجزای محدود، سیب، شکل مود، فرکانس تشدید

مقدمه

دخاله داد. بنابراین امروزه از روش‌های دینامیکی مثل آنالیز مودال که وابستگی کمتری به زمان دارد، جهت تعیین خصوصیات این نوع مواد استفاده می‌شود. بر خلاف تئوری کلاسیک ارتعاشات که عمدتاً پاسخ یک سیستم دینامیکی را مد نظر قرار می‌دهد، در آنالیز مودال خواص ذاتی سیستم یا ماده مورد توجه قرار می‌گیرد.

روش معمولی آزمون مخرب برای تعیین سفتی میوه، تست مگنس - تایلور با نفوذ سنج می‌باشد. در هر صورت این روش تست مخرب است و نمی‌تواند برای کنترل کیفیت میوه در خطوط تولید استفاده شود. فقط آزمون غیر مخرب به صورت online قابل استفاده می‌باشد. از جمله آزمون‌های غیر مخرب می‌توان به آنالیز مودال اشاره کرد. در این روش با تعیین بسامد طبیعی می‌توان سفتی میوه را مشخص نمود. برای به دست آوردن فرکانس‌های طبیعی از معادله (۱) استفاده می‌شود:

$$[M]\{\ddot{X}\} + [K]\{X\} = \{0\} \quad (1)$$

در فرمول ۱، X بردار جابجایی، \ddot{X} بردار شتاب، $[m]$ و $[k]$ ماتریس‌های جرم و سختی سیستم می‌باشند. از این معادله فرکانس‌های طبیعی سیستم در حوزه خطی الاستیک به دست می‌آید

تقاضا برای میوه‌های با کیفیت بالا باعث ایجاد ضرورت تهیه یک سیستم پایش (مونیتورینگ) کنترل کیفیت میوه در هنگام برداشت، انبار و توزیع را ایجاد نموده است. کیفیت میوه به وسیله ویژگی‌های درونی و بیرونی آن تعیین می‌شود. مهم‌ترین ویژگی‌های بیرونی اندازه، شکل، رنگ و خواص مکانیکی و مهم‌ترین خصوصیات درونی مزه و بافت می‌باشد. سفتی، یک مشخصه بافتی می‌باشد و یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی محسوب می‌شود. رفتار مواد بیولوژیک به ویژه محصولات کشاورزی کم و بیش نسبت به مواد ایده‌آل متفاوت است. یکی از خواص جالب توجه محصولات کشاورزی این است که رابطه تنش - تغییر شکل در آن‌ها به سرعت تغییر شکل بستگی دارد. یعنی باید در معادله تنش - تغییر شکل عامل زمان را هم

۱ و ۴- به ترتیب دانش آموخته دکتری و استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
(*) نویسنده مسئول: (Email: rm_mirzaei52@yahoo.com)

۲ و ۳- دانشیاران دانشگاه تربیت مدرس تهران

دو تابع غیر یکسان که شامل نقاط مرزی می‌باشد (Dewulf *et al.*, 1999). در هر صورت این روش‌ها به علت استفاده از تصاویر دو بعدی شکل تقریبی میوه را ایجاد می‌نمایند. در این پژوهش برای نخستین بار شکل هندسی میوه به صورت کامل و سه بعدی ایجاد می‌شود. روش کار به این صورت است که مختصات نقاط سطح بیرونی میوه به صورت رقومی درآمده و از روی این مختصات شکل سه بعدی واقعی ایجاد می‌گردد. برای ایجاد شکل واقعی، باید کل محصول به صورت رقومی شده درآمده و سطح بیرونی میوه مشخص گردد. به این منظور، برای تهیه مختصات نقاط از دستگاه اسکن تصویری ATTOSII^۱ استفاده شده است. این دستگاه مانند چشم انسان عمل می‌نماید، یعنی با گرفتن تصاویر مختلف از زوایای گوناگون و تطابق آن‌ها با یکدیگر شکل سه بعدی رقومی شده را ایجاد می‌نماید. به عبارت دیگر مختصات سه بعدی سطح بیرونی سیب را تهیه می‌کند. سپس با استفاده از این نقاط و به کمک نرم‌افزارهای مدل‌سازی Catia R16 و ایجاد منحنی‌های B-Spline به کمک این نقاط سطح و حجم ایجاد می‌شود.

در این پژوهش ابتدا ۳۰ نمونه سیب (قرمز دلشیس) به صورت تصادفی و با ابعاد و اندازه‌های مختلف، مطابق جدول ۱ انتخاب گردید. به دلیل اینکه هیچ‌گونه استاندارد برای درجه‌بندی سیب در مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران وجود ندارد از استاندارد ۳۰۰-۵۱ آمریکایی استفاده گردیده است (USDA 2002).

جدول ۱ - مشخصات وزنی نمونه‌ها مطابق استاندارد

Table 1- Wight properties of samples based standard

تعداد نمونه sample number	حدود وزنی (گرم) Weight (gr)
2	<75
10	75-100
2	100-115
7	115-139
9	>139

برای توزین دقیق سیب از یک ترازوی دیجیتال با دقت ۱ گرم استفاده شد. مشخصات وزنی نمونه‌های انتخاب شده در جدول ۱ آمده است.

در تحقیق حاضر برای ایجاد شکل هندسی سیب از دستگاه اندازه‌گیری مختصات سطح بیرونی میوه استفاده شد. در این روش هر تصویر شامل ۱/۵ میلیون نقطه رقومی می‌باشد، که مربوط به مختصات نقاط است. یک نمونه از این داده‌ها در جدول ۲ آمده است.

1- Germany GOM mbH1Mittelweg 7-8 D-38106 Braunschweig

(Jimin, 2000).

جدیداً رشد روزافزونی در روش‌های غیر مخرب برای جداسازی میوه در خطوط تولید به وجود آمده است. پژوهشگران روش‌های مختلف غیر مخربی بر اساس ویژگی‌های دینامیکی مانند سیگنال اکوستیک و فرکانس‌های تشدید که به وسیله منبع ارتعاش ایجاد شده است را برای تعیین سفتی پیشنهاد کرده‌اند (Abbott *et al.*, 1992; De Belie *et al.*, 2000; Schotte *et al.*, 1999; Wang, 2003; Wang *et al.*, 2004a; Wang *et al.*, 2004b). گرچه اندازه‌گیری‌ها و فن‌آوری‌ها ممکن است متفاوت باشد اما هدف همه آن‌ها بررسی و مطالعه ضریب کشسانی میوه و سفتی و به دست آوردن روابط میان آن‌ها می‌باشد. چندین گزارش علمی در مورد روش آنالیز مودال اجزای محدود در مورد میوه‌های کروی مثل سیب (Chen and De Baerdemaeker, 1993b; Lu and Abbott, 1997; Chen *et al.*, 1994) (Verstreken and De Baerdemaeker, 1994)، خربزه (Chen *et al.*, 1996) و گوجه‌فرنگی (Langenakens *et al.*, 1997) موجود می‌باشد. روش آنالیز مودال اجزای محدود به عنوان روش مناسبی برای بررسی خصوصیات تشدید مواد جامد کروی معرفی شده است (Armstrong, 1989; Dewulf *et al.*, 1999; Langenakens *et al.*, 1997). در هر صورت برای میوه‌های غیر کروی و غیر متقارن مثل سیب قرمز و گلابی تحقیقات بیشتری مورد نیاز است. الگوهای ارتعاشی گلابی به وسیله روش آنالیز مودال و روابط بین خواص مواد و مشخصات دینامیکی بررسی شده است (Dewulf *et al.*, 1999). جانسوک و همکاران اثر شکل بر فرکانس‌های تشدید گلابی را به وسیله روش آنالیز مودال بررسی کردند (Jancsok *et al.*, 2001). این تحقیقات نشان می‌دهد که روش آنالیز مودال یک روش غیر مخرب جهت تعیین سفتی میوه می‌باشد. اهداف این تحقیق عبارتند از:

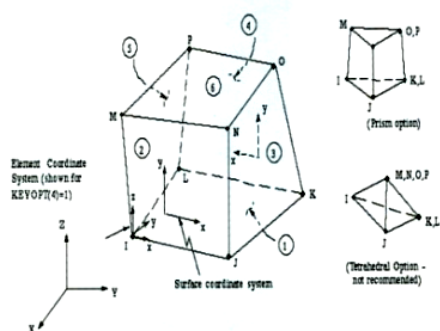
تعیین خصوصیات ابعادی سیب قرمز با استفاده از مدل هندسی آنالیز مودال شکل‌های مود به وسیله مدل اجزای محدود. بررسی تأثیر تغییرات خصوصیات ماده سیب (ضریب کشسانی، چگالی و ضریب پواسون) بر بسامد طبیعی آن.

مواد و روش‌ها

ایجاد شکل هندسی

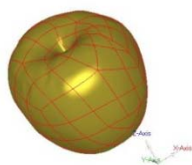
اولین مرحله در تحلیل اجزای محدود، ایجاد شکل هندسی سه بعدی (3D) میوه می‌باشد. روش‌های مختلفی برای ایجاد شکل هندسی موجود است، به دست آوردن نقاط مرزی از روی تصاویر دو بعدی عمومی‌ترین روش ایجاد شکل هندسی میوه می‌باشد که با دوران این نقاط حول محور فرضی تقارن یک شکل سه بعدی ایجاد می‌گردد (Jancsó *et al.*, 1997). روش دیگر عبارت است از دوران

در مدل‌های حجمی و غیر خطی به درستی ایفا می‌نماید (Anonymous, 2008; Dewulf *et al.*, 1999).

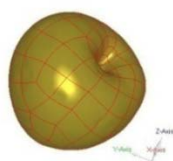


شکل ۱ - المان مورد استفاده در تحلیل اجزای محدود solid 45
Fig.1. Used element in finite element analysis (solid45)

در شکل‌های ۲ تا ۴ نمونه‌هایی که به صورت حجم از منحنی‌ها ایجاد شده نمایش داده شده است.



شکل ۲ - نمونه شماره ۱ با منحنی‌های B-Spline
Fig.2. Sample No1 with contours B-Spline



شکل ۳ - نمونه شماره ۱۶ با منحنی‌های B-Spline
Fig.3. Sample No16 with contours B-Spline

جدول ۲ - مشخصات فضایی (X,Y,Z) سطح بیرونی بر حسب

میلی‌متر

Table 2- Space coordinate (mm) exterior surface of samples

X	Y	Z
3.390741	-2.960811	2.744561
3.448525	-2.901124	2.660532
-0.168434	-3.604336	5.873716
-0.249764	-4.051335	55.866573

حال با تشکیل شکل بیرونی سیب به صورت رقومی شده، لازم است از این نقاط سطحی عبور داده شود. هرچه دقت این سطح‌های خوابیده روی این نقاط بیشتر باشد، شکل هندسی ایجاد شده دارای دقت بیشتری نسبت به شکل واقعی خواهد بود. به علت شکل هندسی نامنظم سیب، باید از سطح‌هایی که شامل منحنی‌های B-Spline بوده و به صورت غیریکنواخت دارای دوران می‌باشند استفاده نماییم (De Boor, 1978).

مدل‌سازی اجزای محدود

اولین مرحله در تحلیل اجزای محدود مش‌بندی می‌باشد، مش‌بندی به شکل جسم و ابعاد آن و نوع المان بستگی دارد جهت مش‌بندی اجسام حجمی معمولاً از المان حجمی مکعبی استفاده می‌شود.

ابعاد مش‌بندی و کنترل المان‌های مدل اجزای محدود از مسائل مهمی است که باید مورد توجه قرار گیرد. در این مرحله مدل المان‌بندی شده مورد بررسی قرار گرفته، تا از صحیح بودن آن (از نظر فیزیکی و عددی) اطمینان حاصل شود. پارامترهای کمی و کیفی المان‌ها در نرم‌افزار تجاری Hyper mesh work10 با حدود مشخص تعیین می‌شود، با این عمل می‌توان مطمئن شد که کلیه المان‌های تولید شده از نظر تحلیل‌گر اجزای محدود قابل قبول می‌باشند. در طی این عملیات کلیه المان‌های نامطلوب مشخص شده، تصحیح می‌شوند (Akin, 2005).

نوع المان

انتخاب المان در روش اجزای محدود یکی از موارد اصلی تحلیل می‌باشد. این المان باید رفتار ماده‌ای که تحت آنالیز قرار می‌گیرد را به درستی ایفا نماید. در مدل‌های حجمی معمولاً از المان‌های مکعبی یا هرمی استفاده می‌شود. در این پژوهش المان مکعبی که در هر گره (گوشه) آن سه درجه آزادی وجود دارد بکار برده شد. این نوع المان که قبلاً دی‌ویلف و همکاران برای میوه گلابی مورد استفاده قرار داده‌اند در شکل ۱ آمده است، این المان رفتار ماده را

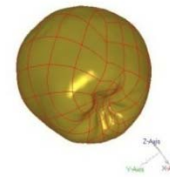
بر اساس اندازه‌گیری، میانگین چگالی نمونه‌ها در حدود 0.84 g.cm^{-3} به دست می‌آید. که این مقدار با چگالی میوه سیب، تطابق دارد (Sitkei, 1998).

اندازه‌گیری ضریب پواسون به راحتی امکان‌پذیر نیست و در ضمن تأثیر به‌سزایی بر آنالیز مودال ندارد. بنابراین از محدوده مشخص شده استفاده می‌گردد. این مقادیر برحسب زمان متغیر است، مقدار آن در محدوده 0.1 تا 0.3 می‌باشد (Sitkei, 1998).

نتایج و بحث

پس از مش‌بندی، آنالیز مودال به روش زیرفضا^۱ در نرم افزار Ansys صورت پذیرفته و ۲۰ مود اول آن‌ها استخراج گردید که نتایج آن به صورت زیر می‌باشد.

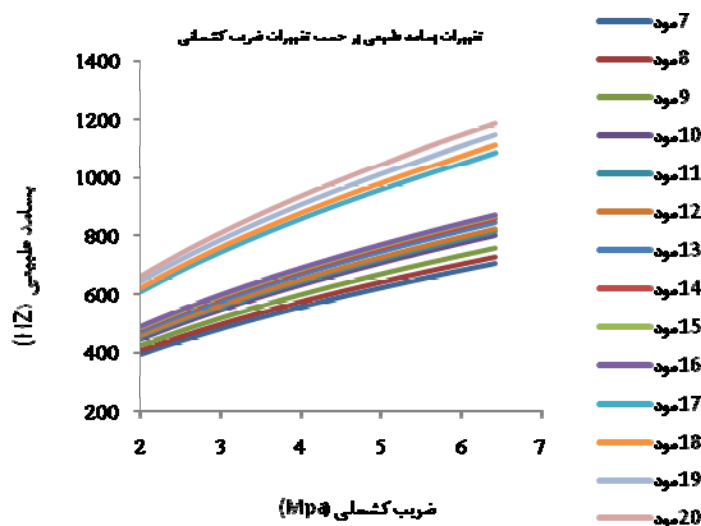
مدل به صورت شرایط آزاد تحت آنالیز مودال قرار گرفته و ۶ مود صلب^۲ که مقدار بسامد آن صفر است، به دست می‌آید و مدهای انعطاف پذیر از مود ۶ به بعد استخراج و بسامدهای طبیعی آن‌ها به دست آمد. آنالیز حساسیت نسبت به خصوصیات ماده صورت می‌پذیرد، که در شکل‌های ۵ تا ۸ این آنالیز همراه با داده‌های به دست آمده برای چند نمونه نشان داده شده است (تغییرات ضریب پواسون $0.49 - 0.2$ ، تغییرات ضریب کشسانی $2 - 6/7 \text{ MPa}$ ، تغییرات چگالی $0.7 - 1 \text{ g.cm}^{-3}$).



شکل ۴- نمونه شماره ۲۲ با منحنی‌های B-Spline
Fig.4. Sample No22 with contour B- Spline

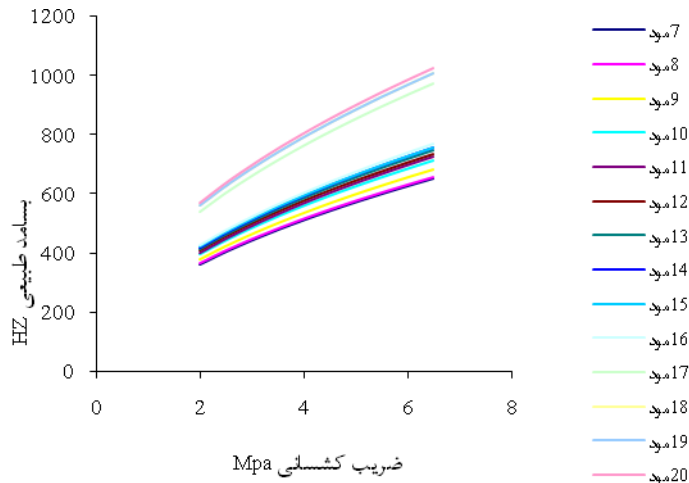
پس از ایجاد شکل هندسی نمونه‌ها در نرم‌افزار مدل‌سازی Catia R16، این مدل به صورت فرمت IGES ذخیره گردیده، تا در مدل‌سازی اجزای محدود مورد استفاده قرار گیرد. این فرمت در نرم‌افزارهای اجزای محدود قابل استفاده می‌باشد.

به منظور تعیین خصوصیات ماده از کارهای تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده استفاده می‌گردد. سه پارامتر مورد نیاز عبارتند از: ضریب کشسانی، چگالی و ضرایب پواسون. ضریب کشسانی مورد استفاده در تحلیل اولیه از کارهای تحقیقاتی آرمسترانگ استخراج شده است (Armstrong, 1989). این ضریب کشسانی که در تست‌های استاتیکی به دست آمده است باید به روز رسانی شود. در آنالیز مودال، ضریب کشسانی دینامیکی استخراج می‌گردد. چگالی واقعی از روی حجم و وزن اندازه‌گیری شده به دست آمده، این مقادیر با کارهای تحقیقاتی قبلی مطابقت داشت، یعنی با داشتن حجم نمونه و وزن، از رابطه $\rho = mv^{-1}$ چگالی به دست می‌آید (Sitkei, 1998).

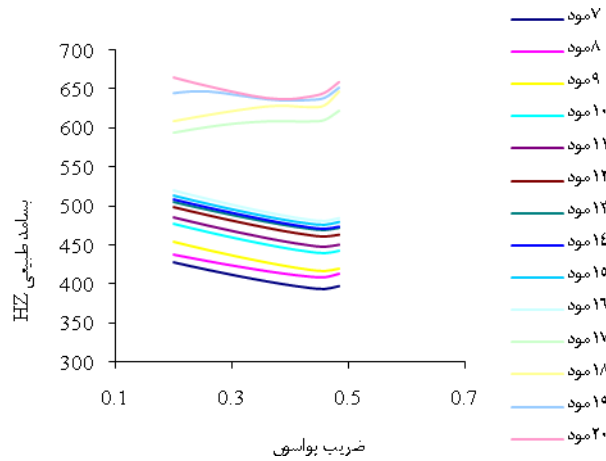


شکل ۵- تغییرات بسامد طبیعی نسبت به تغییرات ضریب کشسانی برای نمونه شماره ۵
Fig. 5. Variation natural frequency vs. young's modules for sample No5

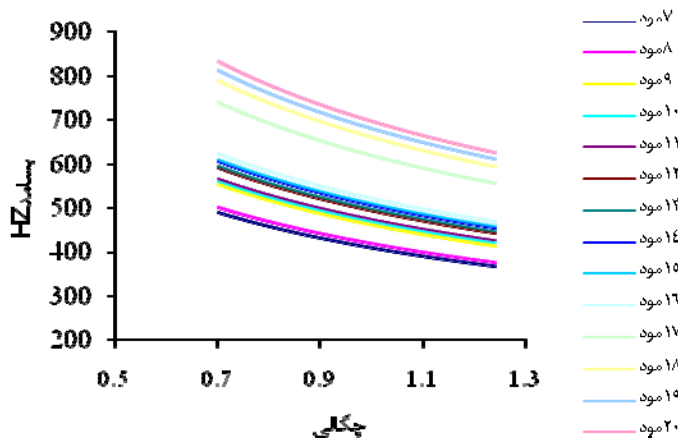
1- Subspace
2- Rigid



شکل ۶- تغییرات بسامد طبیعی نسبت به تغییرات ضریب کشسانی برای نمونه شماره ۸
Fig. 6. Variation natural frequency vs. young's modulus for sample No 8

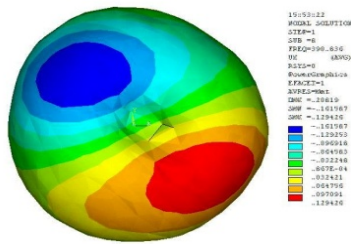


شکل ۷- تغییرات بسامد طبیعی نسبت به تغییرات ضریب پواسون برای نمونه شماره ۱۱
Fig. 7. Variation natural frequency vs. Poisson's ratio for sample No 11



شکل ۸- تغییرات بسامد طبیعی نسبت به تغییرات چگالی برای نمونه شماره ۲
Fig. 8. Variation natural frequency vs. density for sample No 2

به مکان های دیگر دارا می باشد.

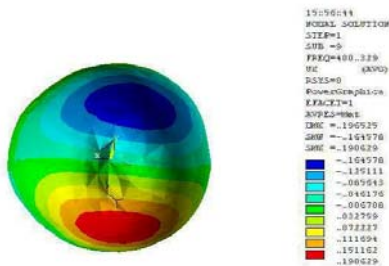


شکل ۱۱- منحنی های هم ارز جابجایی در مود شماره ۸ در نمونه شماره ۱۶

Fig. 11. Displacement contours in eight modes for sample No 16

شکل ۱۱ مقدار جابجایی در مود شماره ۸ برای نمونه ۱۶ را نشان می دهد. این مود مثل مود ۷ مود پیچشی می باشد، با این تفاوت که محور پیچش عمود بر محور پیچش در مود ۷ می باشد و همان طوریکه در شکل مشخص است، مقدار جابجایی در این ناحیه زیاد بوده و در جهت مخالف هم می باشد.

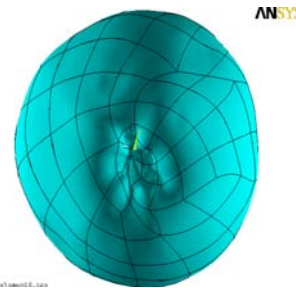
شکل ۱۲ مقدار جابجایی در مود ۹ را نشان می دهد. این مود اولین مود خمشی می باشد، محور خمش محور تقارن میوه می باشد، چنانچه از فرمول خمش حول یک محور ($\sigma = M \times C \times I^{-1}$) مشخص است هر چه فاصله از محور خمش (تار خنثی) بیشتر باشد، تنش و در نتیجه کرنش و مقدار جابجایی بیشتر است. پس مقدار جابجایی در قسمت هایی که بیشترین فاصله را از تار خنثی داشته باشد ماکزیمم است. مقادیر جابجایی منفی مربوط به تنش فشاری و مقادیر جابجایی مثبت مربوط به تنش کششی می باشد.



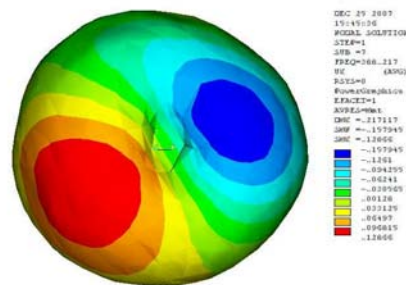
شکل ۱۲ - منحنی های هم ارز جابجایی در مود شماره ۹ در نمونه شماره ۱۶

Fig. 12. Displacement contours in nine modes for sample No 16

از شکل های مربوط به آنالیز حساسیت نتایج زیر حاصل می شود:
 ۱- با افزایش ضریب کشسانی سیب، بسامد طبیعی در تمام مودها به صورت خطی افزایش پیدا می کند (شکل ۵ و ۶).
 ۲- با افزایش ضریب پواسون، بسامد طبیعی برای مودهای تا شماره ۱۵ با شیب کمتری نسبت به تغییرات چگالی، کاهش پیدا می کند (شکل ۷).
 ۳- با افزایش چگالی در میوه سیب، بسامد طبیعی برای تمام مودها کاهش می یابد (شکل ۸).
 مودهای بالاتر از ۱۵ به علت اینکه مودهای ترکیبی هستند، مطالعه آن ها خارج از این پژوهش می باشد و از مودهای پایین ۴ مود اول که مودهای خالص می باشد برای مطالعه بیشتر در نظر گرفته می شوند. شکل ۹ مدل اجزای محدود در نرم افزار Ansys را نشان می دهد.



شکل ۹- مدل اجزای محدود نمونه شماره ۱۶ در نرم افزار Ansys
 Fig. 9. Finite element model of sample No 16 in Ansys software



شکل ۱۰- منحنی های هم ارز جابجایی در مود شماره ۷ در نمونه شماره ۱۶

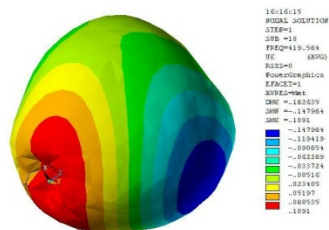
Fig.10. Displacement contours in seven modes for sample No 16

همان گونه که از شکل ۱۰ مشاهده می شود، مود ۷ مربوط به پیچش ناحیه بالای میوه می باشد. با توجه به اصل آنالیز مودال که تغییر شکل های نسبی را نشان می دهد، مقدار جابجایی در این ناحیه در دو طرف در خلاف جهت یکدیگر بوده و بیشترین مقدار را نسبت

شکل ۱۳ مقدار جابجایی در مود ۱۰ در قسمتی که تحت پیچش می‌باشد را نشان می‌دهد. محور پیچش محور تقارن است که از قسمت بالا و پایین میوه می‌گذرد.

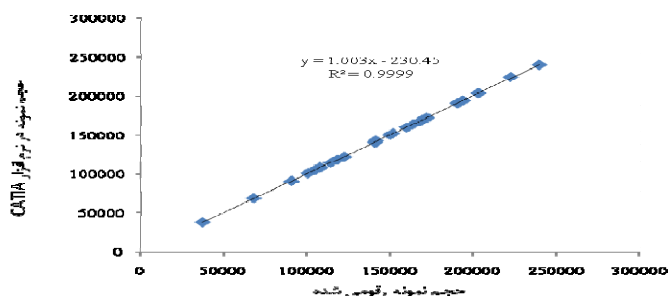
یکی از روش‌های صحنه‌گذاری مدل اجزای محدود، کنترل حجم مدل اصلی و حجم مدل هندسی می‌باشد که این کار در شکل ۱۴ برای نمونه‌ها انجام گردیده و اختلافی مشاهده نگردید.

شکل ۱۵ تغییرات اولین فرکانس طبیعی نسبت به حجم نمونه را نمایش می‌دهد. با افزایش حجم اولین فرکانس طبیعی به علت افزایش وزن کاهش پیدا می‌کند.

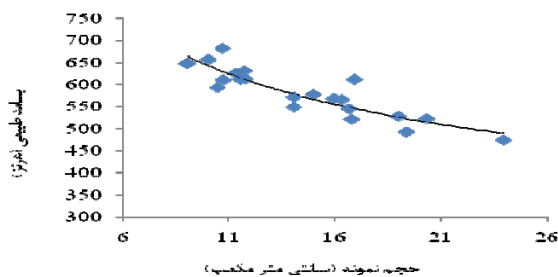


شکل ۱۳- منحنی‌های هم ارز جابجایی در مود شماره ۱۰ در نمونه شماره ۱۶

Fig. 13. Displacement contours in ten modes for sample No 16



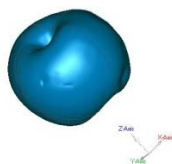
شکل ۱۴- مقایسه حجم مدل هندسی در نرم‌افزار Catia (mm^3) نسبت به حجم مدل رقمی شده نمونه‌ها (mm^3)
Fig. 14. Comparison geometry volume's model in Catia software (mm^3) and volume digitizer's samples



شکل ۱۵- تغییرات اولین فرکانس طبیعی نسبت به تغییرات حجم نمونه‌ها
Fig. 15. Variation natural frequency vs. sample's volume

جدول ۳ مقادیر چهار فرکانس اول مود انعطاف‌پذیر همراه با شکل مودها را مشخص می‌نماید.

شکل ۱۶، نمونه مدل میوه سیب همراه با جهت‌های محورهای مختصات جهت تعیین راستای حرکت شکل مودها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶- نمونه میوه سیب جهت تحلیل مودال همراه با محور مختصات
Fig.16. Apples fruit sample for modal analysis with axis coordinate

جدول ۳- چهار فرکانس اول مود انعطاف پذیر همراه با شکل مود

Table 3- First frequency four flexible mode with mode shape

شماره مود	فرکانس طبیعی (هرتز)	شکل مود
No mode	Natural frequency (Hz)	Mode shape
7	584.15	پیچش قسمت فوقانی میوه Twisting the upper part of the fruit
8	595.98	پیچش قسمت فوقانی میوه (محور مخالف مود 7) Twisting the upper part of the fruit (Axis of abuse Made 7)
9	635.60	خمش Bending
1	655.27	پیچش حول محور تقارن میوه Fruit twisting about the axis of symmetry

در جدول های ۴ و ۵ مقادیر آماری برای تمام نمونه و مودهای شماره ۷ تا ۲۰ مشخص شده است.

جدول ۴- داده های آماری محاسبه شده برای تمام مودها (بر حسب هرتز)

Table 4- Calculated statistical data for all modes (Hz)

وزن (گرم)	ضریب تغییرات ضریب کشسانی	ضریب تغییرات چگالی	ضریب تغییرات نسبت پواسون
Weight (gr)	Coefficient of variation of young's modules	Coefficient of variation of Density	Coefficient of variation of Poisson's ratio
82	16.89	8.66	2.77
83	17.25	4.91	2.51
91	18.64	7.02	2.75
94	16.45	5.69	4.8
96	17.86	10.62	2.46
98	16.89	5.17	2.82
100	18.03	6.59	2.83
101	17.19	7.02	1.61
118	18.98	6.91	2.34
119	16.72	11.55	4.57

جدول ۵- مقایسه ضریب تغییرات پارامترهای خصوصیات ماده بر حسب تغییرات وزن نمونه ها

Table 5- Comparison C.V. property's material parameters vs. variation weight's samples

کل نمونه ها	مود ۷	مود ۸	مود ۹	مود ۱۰	مود ۱۱	مود ۱۲	مود ۱۳	مود ۱۴
میانگین	582.15926	595.98651	635.60342	655.26435	663.54347	681.10309	689.26289	701.8183
واریانس	3125.5746	3087.9432	4763.6117	4731.428	4813.0465	4561.5194	4966.615	5427.6164
ضریب تغییرات	11.362093	10.973264	12.312451	11.78631	11.873658	11.419401	11.875242	11.793502
کل نمونه ها	مود ۱۵	مود ۱۶	مود ۱۷	مود ۱۸	مود ۱۹	مود ۲۰		
میانگین	705.84563	716.99477	876.36198	918.24874	929.14139	944.693334		
واریانس	5563.3714	6032.3104	8414.1925	12057.73	12275.223	12858.048		
ضریب تغییرات	11.871665	12.132167	11.867579	13.877925	13.615374	13.765202		

همان طوری که از جدول ۵ مشاهده می شود ضریب تغییرات (حساسیت) برای تمام وزن های نمونه ها برای پارامتر ضریب کشسانی در حدود ۲-۳ برابر پارامتر چگالی و حداقل ۴ برابر پارامتر ضریب پواسون می باشد. بنابراین تغییرات ضریب کشسانی می تواند به عنوان یک فاکتور اصلی در تعیین تغییرات بسامد طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. تغییر در بسامد طبیعی نمونه بیشترین رابطه را با تغییرات ضریب کشسانی دارد.

مهمترین نمایشگر کیفیت میوه سفتی می باشد که وابستگی زیادی به ضریب کشسانی و این پارامتر رابطه مستقیم با بسامد طبیعی دارد. با استفاده از مدل اجزای محدود ایجاد شده در این تحقیق بسامدهای طبیعی و شکل مود میوه سیب به دست آمد. با روش آنالیز مودال شرایط مرزی آزاد ۲۰ مود اول همراه با شکل مود استخراج گردید. اولین مود پیچش میوه با میانگین بسامد طبیعی ۵۸۴/۱۵ هرتز در حدود تغییرات ضریب کشسانی میوه سیب به دست آمد. کمترین

انعطاف‌پذیر دارای تغییر شکل منظم (پیچشی - خمشی - فشاری - دایره بیضی) دارای مقادیر یکسان می‌باشد. بنابراین نخستین بسامد طبیعی انعطاف‌پذیر که مود پیچشی می‌باشد، به عنوان فاکتور تعیین سفتی میوه سیب پیشنهاد می‌گردد.

نتیجه‌گیری

خواص محصولات کشاورزی وابسته به زمان می‌باشد و این خصوصیات با گذشت زمان تغییر می‌کنند. سفتی یکی از ویژگی‌های اصلی میوه می‌باشد که وابستگی زیادی به ضریب کشسانی دارد. تعیین این ویژگی در زمان‌های مختلف و در حالت استاتیکی انجام شده که نیازمند زمان و هزینه زیادی می‌باشد و به راحتی هم شرایط قابل کنترل نمی‌باشد. بنابراین استفاده از روش‌های عددی از جمله اجزای محدود امروزه این مشکلات را حل نموده و به آسانی اثر پارامترهای مختلف بر خواص ماده قابل بررسی می‌باشد. در این پژوهش برای اولین بار شکل هندسی میوه سیب به طور دقیق اندازه‌گیری شده و ابعاد هندسی آن تعیین گردیده است. مدل اجزای محدود میوه سیب با المان حجمی ایجاد شده و در نرم‌افزار تجاری Hyper mesh خطاهای مربوط به مدل گرفته شد. مدل اجزای محدود و مدل هندسی از نظر حجم مقایسه شده و خطایی مشاهده نگردید و نتایج زیر به دست آمد:

- ۱- آنالیز مودال به صورت شرایط مرزی آزاد انجام شده و ۲۰ مود اول همراه با شکل مود آن‌ها استخراج گردید و ۶ مود صلب دارای مقادیر نزدیک به صفر بوده که نشان‌دهنده صحت مدل می‌باشد.
- ۲- آنالیز حساسیت نسبت به تغییر خواص میوه سیب انجام گردید و نشان‌دهنده ۳-۲ برابر اثر ضریب کشسانی بر بسامد طبیعی نسبت به چگالی و ۴ برابر نسبت به ضریب پواسون بود.
- ۳- اولین بسامد طبیعی با فرکانس ۵۸۴ هرتز برای مود پیچش به‌دست آمد که با نتایج دیگر محققین تطابق مناسبی داشت.
- ۴- مدل اجزای محدود ایجاد شده به عنوان یک مدل پایه برای مطالعه خواص مکانیکی بدون نیاز به تست‌های تجربی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

بسامد طبیعی با ضریب کشسانی ۲ مگاپاسکال برای تمام نمونه‌ها با حجم و وزن مختلف بین ۳۰۰ تا ۴۹۰ هرتز به‌دست آمد که با کارهای تحقیقاتی دیگر محققین مطابقت داشت (Cooke and Rand, 1973) اثر تغییرات پارامترهای ضریب کشسانی، چگالی و ضریب پواسون بر اولین بسامد تشدید به‌ترتیب ۸۵ درصد، ۱۱ درصد و ۴ درصد به‌دست آمد که تأثیر این پارامترها با کارهای تحقیقاتی مربوط به تعیین ضریب کشسانی به روش اکوستیک مطابقت مناسبی دارد (Armstrong et al., 1990). محققین با روش اکوستیک و تعیین بسامد طبیعی میوه سیب رابطه زیر را برای تعیین ضریب کشسانی پیشنهاد کرده‌اند این رابطه شکل میوه را که پارامتر اصلی در تعیین بسامد طبیعی می‌باشد به صورت ساده یک کره همسان در نظر گرفته است. نتایج این تحقیق تأثیر سه پارامتر ضریب کشسانی، چگالی و ضریب پواسون با توجه به معادله بر بسامد طبیعی را نشان می‌دهد. چنانچه از معادله با توجه به توان و ضرایب عددی ضریب پواسون، چگالی و ضریب کشسانی و نتایج تحقیق مشخص است، بیشترین تأثیر را ضریب کشسانی بر بسامد طبیعی میوه دارد.

$$G = (\omega a \times \Omega^{-1})^2 \rho \quad (2)$$

$$E = m^{2/3} \rho^{1/3} (6\pi^2)^{2/3} 2^{1+\nu} \Omega^{-2} f^2 \quad (3)$$

در روابط ۲ و ۳، a شعاع کره (mm)، ω سرعت دورانی، Ω از ضرایب ثابت لا‌ما، G مدول برشی، E ضریب کشسانی (MPa) و f بسامد طبیعی (Hz) میوه سیب می‌باشد.

داده‌های تجربی در منبع تحقیقاتی (Finney, 1970) با ضریب کشسانی ۶/۷ مگاپاسکال و وزن سیب ۱۳۹ گرم، بسامد طبیعی را برای مود پیچشی خالص با در نظر گرفتن دایره همسان ۸۲۱ هرتز مشخص می‌نماید که با توجه روش اکوستیک بکار رفته که مود ۱۸ را تحریک نموده است. عدد به‌دست آمده از روش آنالیز مودال ۸۷۲ هرتز می‌باشد، که مطابقت مناسبی با آن دارد و خطای کمتر از ۵ درصد را نشان می‌دهد.

با داشتن یک سیستم پایش اتوماتیک تعیین فرکانس طبیعی، می‌توان تغییرات ضریب کشسانی و سفتی را بررسی کرد و یا به عنوان یک سیستم کنترل کیفی غیر مخرب در خطوط بسته‌بندی مورد استفاده قرار داد. مدل اجزای محدود ایجاد شده در این تحقیق تغییرات بسامد طبیعی بر حسب تغییر ضریب کشسانی میوه سیب را به‌درستی پیش بینی نموده همچنین ضریب تغییرات در تمام مودهای

منابع

1. Abbott, A. J., A. H. Affeldt, and A. L. Liljedahl. 1992. Firmness measurement of stored 'Delicious' apples by sensory methods, Magness-Taylor, and sonic transmission. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117: 590-595.
2. Akin, J. E. 2005. *Finite Element Analysis with Error Estimators*. Elsevier.
3. Anonymous. 2008. *ANSYS Users Manual: Swanson Analysis Systems*

4. Armstrong, P. R., H. R. Zapp, and G. K. Brown. 1990. Impulsive excitation of acoustic vibrations in apples for firmness determination. *Transactions of the ASAE* 33: 1353-1359.
5. Armstrong, P. R. 1989. Measurement of apple firmness using the acoustic impulse response state univ .east lansing.MI. Mich.
6. Chen, H., and J. De Baerdemaeker. 1993b. Finite-element-based modal analysis of fruit firmness. *Transactions of the ASAE* 36: 1827-1833.
7. Chen, H., J. De Baerdemaeker, V. Bellon. 1996. Finite element study of the melon for nondestructive sensing of firmness. *Transactions of the ASAE* 39: 1057-1065.
8. Cooke, J. R., and R. N. Rand. 1973. A mathematical study of resonance in intact fruits and vegetables using a three media elastic sphere model. *Journal of agricultural engineering research*, 18: 141-157.
9. De Belie, N., S. Schotte, P. Coucke, and J. De Baerdemaerker. 2000. Development of an automated monitoring device to quantify changes in firmness of apple during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 18: 1-8.
10. De Boor, C. 1978. *Practical Guide to Splines*. New York. Springer Verlag.
11. Dewulf, W., P. Jancsó, B. M. Nicolai, G. De Roeck, and D. Briassoulis. 1999. Determining the firmness of a pear using finite element modal analysis. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74: 217-224.
12. Finney, E. E. 1970. Mechanical resonance within Red Delicious apples and relation to fruit texture. *Transactions of the ASAE* 13: 177-180.
13. Jancsó, P., B. Nicolai, P. Coucke, and J. De Baerdemaeker. 1997. 3D Finite element model generation of fruits based on image processing. Paper presented at 3rd IFAC/ISHS Workshop on Mathematical and Control Application in Agriculture and Horticulture; September 28 - October 2, Hannover, Germany.
14. Jancsó, P. T., L. Clijmans, B. M. Nicolai, and J. de Baerdemaeker. 2001. Investigation of the effect of shape on the acoustic response of 'conference' pears by finite element modeling. *Postharvest Biology and Technology*, 23: 1-12.
15. Jimin, H. 2000. *Modal Analysis*. New York: Academic Press.
16. Langenakens, J., X. vandewalle, and J. De Baerdemaeker. 1997. Influence of global shape and internal structure of tomatoes on the resonant frequency. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66: 41-49.
17. Lu, R., J. A. Abbott. 1997. Finite element modeling of transient responses of apples to impulse excitation. *Transactions of the ASAE* 40: 1395-1406.
18. Schotte, S., N. De Belie, and J. De Baerdemaerker. 1999. Acoustic impulse-response technique for evaluation and modeling of firmness of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 17:105-115.
19. Sitkei, G. 1998. *Mechanics of Agricultural materials*: John Willy and Sons Inc.
20. USDA. 2002. *United States Standards for Grades of Apples*. Washington, D.C: United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Fruit and Vegetable Programs. Fresh Products Branch.
21. Verstreken, E., and J. De Baerdemaeker. 1994. Evolution of maturity of peaches: non-destructive firmness measurement from the acoustic impulse response. *International Agrophysics*, 8: 469-473.
22. Wang, J. 2003. Anisotropic relaxation properties of pear. *Biosystems Engineering*, 85: 59-65.
23. Wang, J., B. Teng, and Y. Yu. 2004a. Pear dynamic characteristics and firmness detection. *European Food Research and Technology*, 218: 289-294.
24. Wang, J., B. Teng, and M. Zhou. 2004b. Dynamic response of impact forces on pear. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 35: 65-68.

بررسی تأثیر تیمارهای آبیاری و تغذیه‌ای بر خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی بذر گلرنگ

مازیار فیض اله زاده^{۱*} - علی محمد نیکبخت^۲ - اسعد مدرس مطلق^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۱۶

چکیده

گلرنگ از گیاهان صنعتی بوده و میزان روغن قابل استخراج از مغز آن حدود ۴۵ درصد می‌باشد. با توجه به ارزش روغن موجود در بذر گلرنگ و همچنین پتانسیل بالای کشور برای کشت آن، نیاز به تولید بذرهایی با کیفیت و عملکرد بیشتر می‌باشد. همچنین طراحی دستگاه‌های مختلف فرآوری و استخراج روغن و همچنین بهینه‌سازی آن‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد که در ارتباط با خواص مختلف بذرها می‌باشد. در نتیجه در این مقاله، برخی خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی بذر گلرنگ رقم IL111 با توجه به اثرات تیمارهای مختلف آبیاری و تغذیه‌ای و در رطوبت تعادلی بذرها مورد مطالعه قرار گرفت. خواص مطالعه شده شامل ابعاد، جرم و جرم هزار دانه، حجم، مساحت سطح بذر، میانگین قطر حساسی و هندسی، ضریب کرویت، چگالی توده‌ای و حقیقی، تخلخل و ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی، نیروی گسیختگی، تغییر شکل در لحظه گسیختگی، انرژی گسیختگی، ضریب کشسانی و سفتی بذر بودند. نتایج نشان از تأثیر معنی‌دار تیمارهای اعمال شده بر اکثر خواص فیزیکی و مکانیکی در سطح احتمال $p \leq 0.01$ داشت. بیشترین مقدار برای جرم و قطر میانگین هندسی و انرژی گسیختگی در شرایط تیماری «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه بیولوژیک (بیوسولفور)» حاصل شد. نتایج نشان از تأثیر معنی‌دار قطر میانگین هندسی بر جرم و انرژی گسیختگی و همچنین تأثیر جرم بر سفتی بذر داشت. از طرفی رابطه مستقیمی بین جرم و انرژی گسیختگی مشاهده شد که نشان از نیاز به انرژی بیشتر برای خرد کردن بذرها بزرگتر داشت. بیشترین انرژی گسیختگی $0.033J$ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی، روغن، شرایط آبیاری، گلرنگ

مقدمه

66100 ha و 13498 ha بوده است. اهمیت دانه‌های روغنی نه فقط به خاطر روغن موجود در آن‌ها، بلکه به دلیل مواد پروتئینی با ارزشی است که پس از استخراج روغن در تغذیه انسان و حیوان به مصرف می‌رسد. دانه‌های روغنی از محصولات با ارزش در تجارت جهانی بوده و سومین محصول مهم کشاورزی پس از گوشت و غلات به حساب می‌آیند (Malek, 2000). همچنین امروزه منابع جدیدی به عنوان سوخت جایگزین سوخت‌های فسیلی در موتورهای درون‌سوز معرفی شده‌اند. بسیاری از این سوخت‌های جایگزین جدید منشأ آلی دارند که عمده‌ترین آن‌ها الکل‌ها، روغن‌های گیاهی و بیوگاز می‌باشند. یکی از این سوخت‌ها بیودیزل است که می‌توان آن را از روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی به دست آورد. سالیانه مقادیر قابل توجهی از منابع ارزی کشور صرف واردات محصولات غذایی می‌شود که در این میان روغن‌های خوراکی با توجه به بازار بسیار وسیع مصرف از اولویت خاصی در سطح ملی برخوردارند. افزایش تولید روغن‌های خوراکی را می‌توان علاوه بر بهبود شیوه‌های کشت و اصلاح ارقام پرمحصول، از طریق بهبود سامانه‌های مورد استفاده در مراحل مختلف مرتبط با دانه و از جمله سامانه دستگاه روغن‌کشی

گلرنگ، از راسته Cynareae، تیره Asteraceae، جنس *Carthamus* و گونه زراعی *C. tinctorius* می‌باشد. در ایران، استان‌های خراسان، آذربایجان و اصفهان مناطقی هستند که بخش اعظم گلرنگ در آن‌ها کشت می‌گردد. این گیاه جزو نباتات صنعتی به شمار می‌رود و میزان روغن قابل استخراج از بذر آن نسبت به رقم 25-30 درصد و از مغز دانه 35-45 درصد می‌باشد، که این روغن در تغذیه و صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد (Aliyari et al., 2000). طبق اعلام FAO تولید جهانی گلرنگ در سال 2010 میلادی، حدود 634604 tone برآورد شده است. سطح زیر کشت این گیاه در ایران در سال 2010 میلادی، 740 ha و با متوسط عملکرد 635 kg ha^{-1} می‌باشد، در حالی که در کشورهایی همچون آمریکا، آرژانتین و ترکیه سطح زیر کشت این محصول به ترتیب 67870 ha،

۱، ۲ و ۳- به ترتیب کارشناس ارشد، استادیار، دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(Email: mazynas@gmail.com)

*- نویسنده مسئول:

پوست‌کنی، جداکننده و استخراج روغن مفید می‌باشد (Gupta *et al.*, 2007). بررسی خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی دانه و هسته گیاه جاتروفا (گیاه نفتی) که از جمله گیاهان صنعتی است و دارای اهمیت فراوانی در صنعت روغن و سوخت بیودیزل می‌باشد، به‌دست آمد. گزارش شد که نیروی گسیختگی برای دانه‌ها و هسته‌ها با افزایش واحد جرم، در جهات افقی (x)، عرض (y) و قائم (z) افزایش یافت. در این تحقیق تأثیر جهات بارگذاری بر برخی از خواص مکانیکی بررسی شد (Karaj and Muller, 2010). با توجه به اهمیت اقتصادی گلرنگ در زمینه‌های مختلف و نیز پتانسیل بالای کشور ایران در خصوص افزایش سطح زیر کشت و فرآوری پس از برداشت این محصول جهت استخراج روغن خوراکی با کیفیت بیشتر نسبت به روغن‌های خوراکی فعلی و همچنین تولید سوخت بیودیزل و نیز احساس نیاز به تهیه منابع جایگزین و طراحی ماشین‌های فرآوری اهداف زیر در این تحقیق دنبال می‌شود.

تعیین خواص فیزیکی بذر گلرنگ رقم IL111 برای طراحی ماشین‌های جداساز و روغن‌کشی، تعیین خواص مکانیکی بذر گلرنگ رقم IL111 و بررسی اثرات تیمارهای مختلف کشت (آبیاری و تغذیه) بر خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی گلرنگ.

مواد و روش‌ها

توده‌ای از دانه‌های گلرنگ در سال زراعی ۱۳۸۹ (۲۰۱۰) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در پردیس نازلو (واقع در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ ثانیه و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۱ ثانیه از نصف‌النهار گرینویچ) با ۱۳۲۰ متر ارتفاع از سطح دریا، در گروه زراعت دانشکده کشاورزی ارومیه آماده شد که تاریخ کشت و برداشت و نوع تیمارهای اعمالی در جدول ۱ مشاهده می‌شود. ترکیب ۳ تیمار آبیاری و ۷ تیمار تغذیه‌ای باعث به‌وجود آمدن ۲۱ تیمار مختلف شد که از هر تیمار نیز ۶۰ نمونه به‌صورت تصادفی انتخاب و آزمایشات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در رطوبت تعادلی ۷ درصد انجام شد.

تیمار آبیاری کامل (a) بر اساس عرف منطقه هر ۸ روز یکبار صورت می‌گرفت و همچنین ادامه قطع آبیاری در مراحل رشد رویشی (b) و زایشی (c) تا زمان بروز آثار پژمردگی در گیاهان در ساعات غیر از ظهر و همچنین از طریق اندازه‌گیری وزنی رطوبت خاک صورت می‌گرفت، که معیار کاهش میزان رطوبت خاک تا ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک بود. میزان آب مصرفی در هر یک از رژیم‌های آبیاری با استفاده از پارشال فلوم اندازه‌گیری شد. مقدار کلی آب مصرفی در رژیم‌های آبیاری کامل (a)، قطع آبیاری در مراحل رشد رویشی (b) و قطع آبیاری در مراحل رشد زایشی (c) به ترتیب ۷۵۹۹، ۶۴۷۹ و ۵۳۲۲ متر مکعب در هکتار بود.

تأمین نمود. از این‌رو بومی سازی فناوری طراحی و ساخت دستگاه‌های روغن‌کشی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. با ساخت دستگاه‌های استخراج روغن می‌توان تولید داخلی روغن را بالا برده و در نتیجه راهکاری برای کاهش وابستگی از نظر واردات روغن ایجاد کرد. این درحالی است که بیش از ۹۰ درصد از روغن‌های خوراکی کشور از طریق واردات تأمین می‌شود. لذا لزوم برنامه‌ریزی بلندمدت با هدف نیل به خودکفایی در تولید روغن خوراکی غیرقابل انکار و ضروری است. بنابراین باید علاوه بر دستیابی به واریته‌های مرغوب بذرهای روغنی، تأثیر نوع تیمارهای آبیاری و تغذیه‌ای بر کیفیت و راندمان محصول بررسی گردد و در نهایت با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده برای برای بذر گلرنگ، دستگاه استخراج روغن با کارایی بهتر برای این محصول طراحی شود. با توجه به اینکه طراحی انواع مختلف دستگاه‌های تمیزکن، بوجاری و جداسازی نیز بر مبنای خواص فیزیکی و مکانیکی دانه از قبیل شکل، اندازه، حجم، جرم مخصوص، ضریب اصطکاک، زاویه سکون و نیروی شکست و غیره صورت می‌گیرد، بنابراین دانستن این خواص نیز از اهمیت زیادی برخوردار است (Razavi and Akbari, 2006). نیروهای استاتیکی و شبه استاتیکی معیار مناسبی برای طراحی ادوات با کارایی و کیفیت بالاتر می‌باشند و بررسی آن‌ها برای طراحی ادوات فرآوری محصول از قبیل روغن‌گیری، ضروری می‌باشد (Aliyari *et al.*, 2000). همچنین با توجه به اهمیت محصولات کشاورزی در تغذیه، صنعت، داروسازی و غیره لازم می‌باشد تا خواص فیزیکی و مکانیکی آن تعیین و در طراحی و ساخت تجهیزات مختلف در مراحل تولید، انتقال، فرآوری و نگهداری استفاده گردد. در خصوص فرآیند پوست‌کنی تعدادی از محققین به بررسی این موضوع پرداختند که چگونه می‌توان پوست را از دانه آفتابگردان به راحتی جدا نمود، که به این فرآیند، Hullability گفته می‌شود که اساساً به مورفولوژی (شکل ظاهری) بذر و خواص بیومکانیکی پوسته بستگی دارد (Hernandez and Belles, 2007). اثرات رطوبت و نوع واریته در خصوصیات بافتی آفتابگردان بررسی شد. در نهایت محققین متوجه شدند که هر کدام از عوامل واریته و رطوبت به تنهایی و با هم تأثیر معنی‌داری در راندمان پوست‌کنی و خواص بافتی آفتابگردان دارند (Sharma *et al.*, 2009). همچنین بررسی اثرات رطوبت بر روی مشخصه‌های مهندسی هیبریدهای مختلف آفتابگردان توسط گروهی دیگر از محققین صورت گرفت. رابطه خطی معکوسی بین رطوبت با راندمان پوست‌کنی، میزان خسارت و چگالی توده‌ای مشاهده شد. آن‌ها گزارش نمودند که تعیین خواص ذکر شده در بهینه‌سازی فرآیند روغن‌گیری از آفتابگردان مؤثر می‌باشد (Figueiredo *et al.*, 2011). گروه دیگری از محققین گزارش نمودند که اطلاع در مورد خواص فیزیکی دانه آفتابگردان و وابستگی آن به پارامترهای مؤثر برای طراحی تجهیزات مختلف فرآوری، نظیر پاک‌کننده، درجه‌بندی،

جدول ۱- تیمارهای به کار رفته در مزرعه و تاریخ کشت و برداشت محصول و خصوصیات خاک

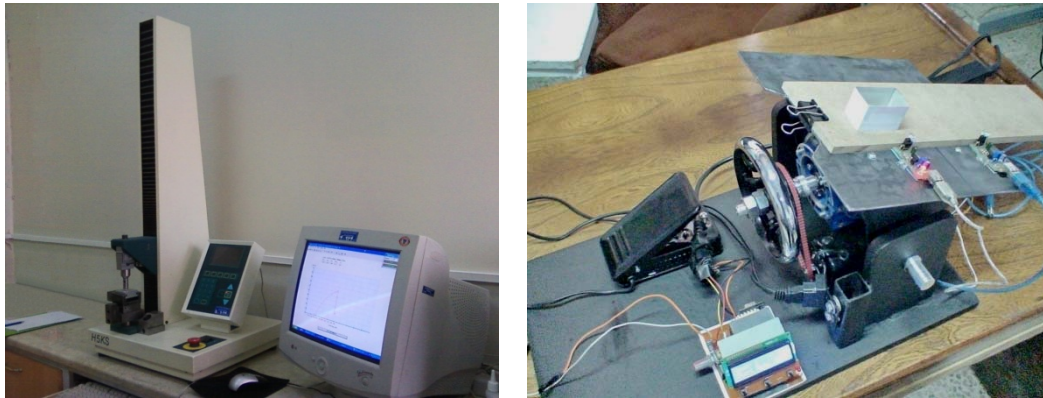
Table 1- Applied treatments in field and date of cultivation and harvesting and soil properties

تغذیه ای Nutrient		آبیاری Irrigation		تیمار Treatment				
d : کود شیمیایی (اوره) d: Chemical		a : بدون قطع آبیاری a: No cutting off irrigation		b : قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی b: Cutting off irrigation in the vegetative stage				
e : ارگانیک (هیومیکس 95) e: Organic (HUMIX95)		c : قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی c: Cutting off irrigation in the reproductive growth stage						
f : بیولوژیک (نیتروکسین) f: Biological (Nitroxin)								
g : بیولوژیک (بیوسولفور) g: Biological (biosulfur)								
h : تلفیقی (d+e+f) h: Compilation (d+e+f)								
i : تلفیقی (d+e+g) i: Compilation (d+e+g)								
j : شاهد j: Control								
تاریخ برداشت: اواخر شهریور ۱۳۸۹ Harvest date: September 2010		تاریخ کشت: خرداد ۱۳۸۹ Cultivation Date: June 2010						
نقطه پژمردگی دائم Permanent wilting point	ظرفیت زراعی Field capacity	پتاسیم (ppm) Potassium	فسفر (ppm) Phosphorus	ازت کل (%) Total nitrogen	کربن آلی (%) Organic carbon	اسیدیته خاک Soil acidity	هدایت الکتریکی (ds m ⁻¹) Electrical conductivity	بافت خاک Soil texture
14.5	27.99	395	11.6	0.094	0.94	7.15	0.54	لومی رسی Clay loam

روی سطح قرار گرفته بود، توسط آزمون فشار برای بررسی تحمل بذر در مقابل بار فشاری و در سه تکرار تعیین گردید. برای تعیین این خواص از دستگاه تست کشش و فشار (HOUNSFIELD) ساخت انگلستان که براساس استاندارد ASTM E4 و با ظرفیت حسگر بار ۵ کیلو نیوتنی عمل می کند، استفاده شد. نیروی گسیختگی، تغییر شکل در لحظه گسیختگی، انرژی گسیختگی، ضریب کشسانی و همچنین سختی بذر که به صورت نسبت نیرو در لحظه گسیختگی به تغییر شکل در لحظه گسیختگی تعریف می شود (Karaj and Muller, 2010)، با استفاده از نرم افزار QMAT به دست آمد (شکل ۱).

در انتهای هر آزمایش، داده های اندازه گیری شده با کمک نرم افزار اکسل در پوشه های مجزا دسته بندی و ذخیره سازی گردیدند. پس از جمع آوری نتایج، در تعداد تکرار مورد نظر، پارامترهای فیزیکی و مکانیکی بر اساس شکل منحنی و یا روابط ذکر شده استخراج شده و هر یک در ستون های مجزا قرار داده شدند. سپس برای هر ستون که معرف اطلاعات پارامترهای فیزیکی و مکانیکی در تیمار معینی بود، اطلاعات اولیه آماری محاسبه گردید. با استفاده از نرم افزار SPSS داده ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نتایج با کمک نرم افزار اکسل و SPSS به صورت نمودارهای ستونی، منحنی و جداول خلاصه شده و مورد بحث قرار گرفت. توزیع فراوانی و نرمال بودن داده ها بررسی شده و تجزیه واریانس داده ها به صورت آنالیز واریانس یک طرفه و آزمایش فاکتوریل برای خواص فیزیکی، مکانیکی و

خواص فیزیکی بذر گلرنگ شامل: ابعاد، جرم و جرم هزار دانه، حجم، مساحت سطح، میانگین قطر حسابی و هندسی، ضریب کرویت، چگالی توده ای و حقیقی، تخلخل و ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی، تعیین شدند. برای تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی، فاصله معینی بر روی صفحه اریب قابل تنظیم معین شده و سنسورها در دو انتهای این بازه قرار گرفتند (شکل ۱ راست). با افزایش زاویه صفحه و شروع لغزش جعبه بر روی سطوح، به کمک سنسورها زمان لازم برای پیمودن فاصله تعیین شده، اندازه گیری شد و با استفاده از فرمول های به دست آمده مقدار نهایی ضریب اصطکاک دینامیکی نیز بر روی سه سطح و در سه تکرار به دست آمد. در نهایت مقادیر میانگین محاسبه شده و ثبت گردید. سه بعد اصلی بذر گلرنگ (L: طول، W: عرض و T: ضخامت) توسط کولیس دیجیتالی با دقت 0.01 mm اندازه گیری شد. برای تعیین جرم دانه ها از یک ترازوی دیجیتالی با دقت 0.001 gr استفاده شد. قطر میانگین هندسی (D_g) و حسابی (D_a)، کرویت (φ)، مساحت سطح بذر (S)، چگالی حقیقی (ρ_s) و توده ای (ρ_b) و تخلخل (ε) از روابط ارائه شده توسط Mohsenin (1978) به دست آمد. برای تعیین ضرایب اصطکاک از دستگاهی با صفحه اریب قابل تنظیم که در گروه مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه ارومیه ساخته شده بود، استفاده شد (شکل ۱). ضرایب اصطکاک بر روی سه سطح آلومینیومی، ورق آهنی و چوب تراش خورده به دست آمد، به طوری که برای هر کدام از تیمارهای ترکیبی (مجموعاً ۲۱ تیمار مختلف) سه تکرار صورت گرفت. تعدادی از خواص مکانیکی گلرنگ در حالتی که بذر در وضعیت نرمال خود



شکل ۱- دستگاه خودکار تعیین ضریب اصطکاک (راست) و دستگاه آزمون خواص مکانیکی (چپ)

Fig. 1. Automatic apparatus for coefficient of friction (R) and mechanical properties testing machine (L)

که در سطح $p \leq 0.01$ ، تیمارها بر اکثر خواص فیزیکی تأثیر معنی‌داری دارند. به استثنای کرویت که تیمار آبیاری تأثیر خاصی بر روی آن نشان نداد. در مورد قطر متوسط تیمار آبیاری در هیچ یک از سطوح احتمال اثر معنی‌دار نداشت ولی تیمار تغذیه‌ای و اثر متقابل در سطح $p \leq 0.05$ معنی‌دار بودند. در مورد چگالی حقیقی تیمار تغذیه‌ای تأثیر نداشته و اثر متقابلی نیز مشاهده نشد. برای تداخل اثر معنی‌داری در هیچ یک از سطوح احتمال مشاهده نشد.

برای بررسی معنی‌داری تأثیر تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و بُن فرونی در سطح احتمال 0.01 و 0.05 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون دانکن برای طبقه‌بندی خواص فیزیکی در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. در این جداول مقدار میانگین به همراه انحراف معیار در داخل پرانتز و همچنین طبقه‌بندی با استفاده از حروف لاتین برای هر تیمار مشخص شده است. نتایج آنالیز نشان داد

جدول ۲- مقدار میانگین و انحراف معیار خواص فیزیکی ساده بذر گلرنگ و طبقه‌بندی براساس آزمون دانکن

Table 2- Mean and standard deviation values for primary physical properties of safflower seed and Duncan based classification

تیمار	طول (میلی متر)	عرض (میلی متر)	ضخامت (میلی متر)	قطر م. ه. (میلی متر)	قطر م. ح. (میلی متر)	جرم واحد (گرم)
Treatment	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	GMD (mm)	AMD (mm)	Seed Mass (g)
ad*	7.88(0.30) ^{bcd}	4.51(0.23) ^{abc}	3.74(0.22) ^{bcd}	5.11(0.22) ^{bcd}	5.38(0.21) ^{bc}	0.048(0.01) ^{bcd}
ae	8.14(0.39) ^a	4.45(0.27) ^{bc}	3.79(0.25) ^b	5.18(0.27) ^{ab}	5.47(0.25) ^{ab}	0.045(0.01) ^{defg}
af	7.88(0.36) ^{bcd}	4.46(0.23) ^{bc}	3.68(0.20) ^{cdef}	5.06(0.19) ^{cdefg}	5.34(0.20) ^{cd}	0.043(0.01) ^{efgh}
ag	7.89(0.46) ^{bcd}	4.39(0.18) ^{cd}	3.67(0.18) ^{cdef}	5.03(0.20) ^{defgh}	5.32(0.22) ^{cd}	0.040(0.01) ^h
ah	7.85(0.35) ^{cde}	4.47(0.24) ^{bc}	3.69(0.16) ^{cdef}	5.05(0.16) ^{defg}	5.33(0.16) ^{cd}	0.045(0.01) ^{cdefg}
ai	7.58(0.41) ^{fg}	4.50(0.34) ^{ab}	3.71(0.20) ^{bcde}	5.02(0.29) ^{defgh}	5.25(0.28) ^{de}	0.042(0.01) ^{gh}
aj	8.09(0.34) ^a	4.53(0.29) ^{abc}	3.76(0.26) ^{bc}	5.16(0.26) ^{abc}	5.46(0.25) ^{ab}	0.046(0.01) ^{cdef}
bd	7.77(0.59) ^{de}	4.52(0.36) ^{ab}	3.65(0.28) ^{defgh}	5.07(0.41) ^{cde}	5.34(0.43) ^{cd}	0.049(0.01) ^{bc}
be	7.84(0.43) ^{de}	4.46(0.24) ^{bc}	3.63(0.26) ^{efgh}	5.02(0.24) ^{defgh}	5.31(0.25) ^{cde}	0.049(0.01) ^{bc}
bf	7.76(0.33) ^{de}	4.47(0.23) ^{abc}	3.69(0.29) ^{bcdef}	5.05(0.28) ^{defg}	5.31(0.27) ^{cde}	0.042(0.01) ^{fgh}
bg	7.51(0.33) ^g	4.47(0.29) ^{abc}	3.62(0.25) ^{efgh}	4.97(0.27) ^{efgh}	5.21(0.26) ^e	0.047(0.01) ^{bcd}
bh	8.01(0.41) ^{ab}	4.49(0.26) ^{abc}	3.68(0.18) ^{cdef}	5.10(0.24) ^{bcd}	5.40(0.25) ^{abc}	0.049(0.01) ^{bc}
bi	7.71(0.32) ^{ef}	4.34(0.19) ^d	3.60(0.12) ^{fgh}	4.94(0.16) ^h	5.22(0.17) ^e	0.047(0.01) ^{bcd}
bj	7.81(0.54) ^{de}	4.44(0.38) ^{bc}	3.57(0.30) ^{gh}	4.96(0.39) ^{fgh}	5.24(0.41) ^{de}	0.040(0.01) ^h
cd	7.80(0.26) ^{de}	4.52(0.24) ^{ab}	3.69(0.19) ^{bcdef}	5.07(0.18) ^{cdef}	5.33(0.16) ^{cd}	0.045(0.01) ^{defg}
ce	7.93(0.30) ^{bcd}	4.46(0.24) ^{bc}	3.66(0.21) ^{cdefg}	5.05(0.21) ^{cdefg}	5.35(0.20) ^{cd}	0.047(0.01) ^{bcd}
cf	7.80(0.37) ^{de}	4.54(0.25) ^{ab}	3.71(0.25) ^{bcde}	5.07(0.21) ^{cde}	5.34(0.21) ^{cd}	0.046(0.01) ^{bcdef}
cg	8.01(0.30) ^{abc}	4.58(0.24) ^a	3.87(0.23) ^a	5.22(0.20) ^a	5.49(0.19) ^a	0.055(0.01) ^a
ch	7.81(0.40) ^{de}	4.47(0.31) ^{abc}	3.63(0.23) ^{efgh}	5.06(0.31) ^{cdefg}	5.32(0.28) ^{cde}	0.048(0.01) ^{bcd}
ci	7.78(0.30) ^{de}	4.31(0.18) ^d	3.56(0.22) ^h	4.96(0.23) ^{gh}	5.26(0.21) ^{de}	0.049(0.01) ^{bc}
cj	7.88(0.37) ^{bcd}	4.51(0.20) ^{abc}	3.74(0.19) ^{bcd}	5.10(0.19) ^{bcd}	5.38(0.20) ^{bc}	0.050(0.01) ^b

GMD: Geometric Mean Diameter

AMD: Arithmetic Mean Diameter

* برای اطلاع از نوع هر تیمار به جدول ۱ مراجعه شود.

جدول ۳- مقدار میانگین و انحراف معیار خواص فیزیکی مرکب بذر گلرنگ و طبقه‌بندی بر اساس آزمون دانکن

Table 3- Mean and standard deviation values for complex physical properties of safflower seed and Duncan based classification

تخلخل (%) Porosity	چگالی حقیقی (کیلوگرم بر متر مکعب) Seed density (kg m ⁻³)	چگالی توده‌ای (کیلوگرم بر متر مکعب) Bulk density (kg m ⁻³)	مساحت تصویر شده (میلی متر مربع) Projected area (mm ²)	مساحت سطح بذر (میلی متر مربع) Surface area (mm ²)	کروییت Sphericity (decimal)	تیمار Treatment
47.39(5.55) a	916.9(0.06) abcd	494.9(0.02) cdef	0.287(0.03) abc	82.19(6.86) bcd	0.649(0.02) bcd ^{ef}	ad*
37.83(7.65) ab	732.1(0.13) bcde	448.0(0.05) ghi	0.329(0.03) a	84.01(8.11) ab	0.637(0.02) ghi	ae
35.54(20.02) ab	713.5(0.21) cde	425.9(0.01) hi	0.264(0.03) bc	80.50(6.17) cde	0.641(0.02) fgh	af
36.27(16.87) ab	708.1(0.23) de	419.7(0.02) i	0.298(0.05) abc	79.72(6.42) def	0.640(0.02) fgh	ag
48.04(6.28) a	923.3(0.11) abcd	474.3(0.01) efg	0.300(0.02) abc	80.14(5.17) de	0.645(0.02) cdefg	ah
35.49(11.84) ab	674.8(0.15) e	457.7(0.04) fgh	0.293(0.03) abc	78.92(8.77) def	0.663(0.03) a	ai
44.40(14.96) ab	879.1(0.21) abcde	463.1(0.01) fg	0.283(0.03) abc	83.77(8.31) abc	0.637(0.02) ghi	aj
44.48(4.67) ab	954.2(0.09) ab	525.9(0.02) abc	0.294(0.08) abc	81.42(13.36) bcd	0.653(0.02) bc	bd
45.39(6.78) a	936.6(0.13) abc	504.4(0.01) bcde	0.317(0.03) ab	79.37(7.60) def	0.642(0.03) defgh	be
44.92(5.74) a	777.9(0.25) abcde	519.6(0.05) abcd	0.280(0.05) abc	80.30(9.01) de	0.652(0.02) bcd	bf
43.69(3.51) ab	873.5(0.13) abcde	530.4(0.03) abc	0.282(0.05) abc	77.79(8.47) ef	0.657(0.03) ab	bg
44.98(2.92) a	899.3(0.09) abcd	509.6(0.03) bcde	0.309(0.02) abc	81.82(7.49) bcd	0.633(0.02) hi	bh
39.63(7.13) ab	937.4(0.12) abc	559.1(0.00) a	0.282(0.02) abc	76.66(5.12) f	0.641(0.02) fgh	bi
39.23(10.98) ab	783.5(0.13) abcde	464.3(0.01) fg	0.252(0.02) c	77.79(12.36) ef	0.643(0.02) defg	bj
44.46(3.01) ab	911.7(0.16) abcd	526.3(0.03) abc	0.312(0.06) ab	80.58(5.57) cde	0.649(0.02) bcd ^{ef}	cd
30.65(11.23) b	794.9(0.13) abcde	539.4(0.02) ab	0.313(0.03) ab	80.39(6.53) de	0.639(0.02) gh	ce
38.15(8.74) ab	806.6(0.21) abcde	485.9(0.07) defg	0.304(0.04) abc	80.99(7.38) bcde	0.651(0.03) bcde	cf
40.33(6.47) ab	895.7(0.19) abcde	558.2(0.02) a	0.337(0.06) a	86.19(6.45) a	0.654(0.02) bc	cg
42.24(7.91) ab	935.7(0.13) abc	532.0(0.01) abc	0.332(0.02) a	79.53(8.45) def	0.650(0.02) bcd ^{ef}	ch
40.46(4.01) ab	893.1(0.14) abcde	556.9(0.02) a	0.283(0.02) abc	76.76(6.54) f	0.629(0.02) i	ci
43.73(6.25) ab	962.4(0.08) a	537.3(0.02) ab	0.296(0.01) abc	81.79(6.14) bcd	0.645(0.02) cdef	cj

* برای اطلاع از نوع هر تیمار به جدول ۱ مراجعه شود.

آبیاری در مرحله رشد زایشی را جبران کند، در نتیجه یک کاهش معنی‌داری در رشد شعاعی بذر مشاهده می‌گردد. این موضوع از دیدگاه سلولی بذر و تأثیر مواد مختلف در نحوه رشد بذر قابل بررسی می‌باشد. بیشترین و کمترین طول بذر به ترتیب به تیمارهای (ae) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع هیومیکس» و (bg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» متعلق می‌باشد. شاید علت این باشد که آبیاری منظم و استفاده از مواد ارگانیک، سبب رشد بهتر بذر در راستای طولی شده است. همین موضوع در مورد ضخامت بذر نیز مشاهده شد، که نشان از اثر مطلوب تغذیه هیومیکس و آبیاری کامل بر این دو بعد دارد. اعمال تیمار (bg) باعث کاهش رشد طولی بذر شده است. این امر می‌تواند به علت کافی نبودن آب برای فعالیت بهتر میکروارگانیسم‌ها و متعاقباً عملکرد مطلوب بیوسولفور بر رشد طولی بذر باشد. قطر میانگین به عنوان شاخصی در تعیین مساحت سطح بذر و همچنین تعیین میزان کرویت که از مشخصه‌های شکل بذر می‌باشد، دارای اهمیت است. قطر میانگین هندسی در محدوده 4.94-5.22 mm و قطر میانگین حسابی متوسط بذرهای گلرنگ در محدوده 5.21-5.49 mm به دست آمد. بیشترین و کمترین قطر میانگین هندسی به ترتیب به تیمارهای (cg)

مقدار میانگین طول، عرض و ضخامت بذر گلرنگ در حالت کلی به ترتیب در محدوده 7.51-8.14 mm، 4.31-4.58 mm و 3.56-3.87 mm به دست آمد. بیشترین ضخامت و عرض برای تیمار (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و کمترین مقدار مربوط به تیمار (ci) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» به دست آمد. رشد شعاعی بذر متأثر از نوع تیمار اعمالی بوده و روند کاملاً یکسانی هم در جهت ضخامت و هم عرض بذر مشاهده شد. در واقع رشد بذر در جهت عمود بر محور طولی بذر یکنواخت است. این نتیجه حاکی از آن می‌باشد که این دو تیمار به همراه هم نتیجه مطلوبی بر روی ضخامت بذر و به عبارتی در رشد شعاعی بذر دارند. اعمال تیمار (ae) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع هیومیکس» نیز سبب افزایش رشد شعاعی بود، ولی از آنجایی که در این تیمار نیاز به آبیاری کامل بود، بنابراین با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و جلوگیری از مصرف زیاد آب، پیشنهاد می‌شود که اگر هدف، تولید بذرهایی گردتر و با ضخامت بیشتر می‌باشد، تیمار هیجدهم اعمال گردد. کمترین ضخامت نیز برای تیمار بیستم می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد که اعمال تغذیه هیومیکس نمی‌تواند قطع

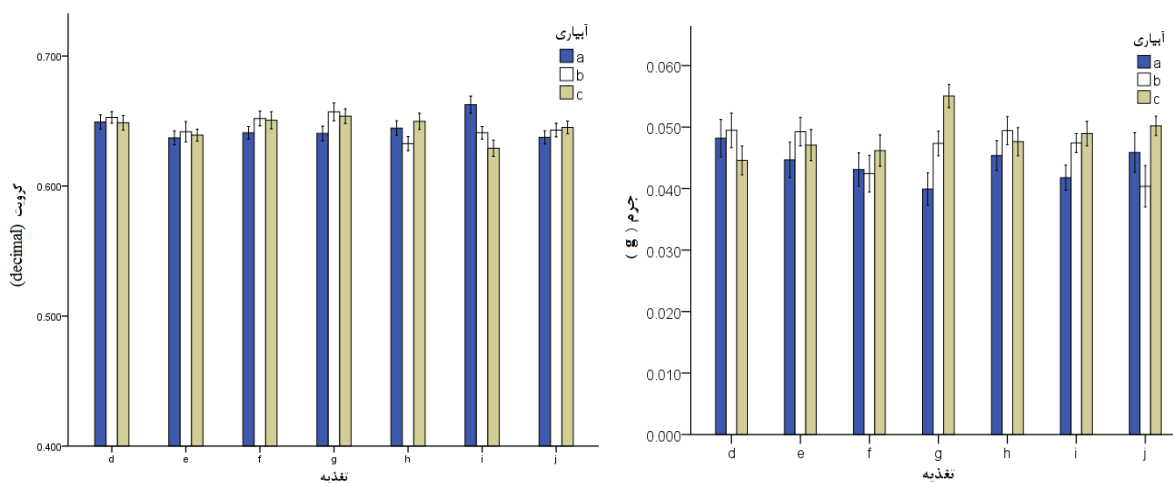
پوست‌کنی مورد استفاده قرار گیرد. مقدار کرویت در محدوده % 66.3-62.9 متغیر است که مقادیر به‌دست آمده با نتایج به‌دست آمده برای بذر گلرنگ (۶۶-۵۸ درصد) توسط Baumler و همکاران (۲۰۰۶) مشابه می‌باشد (شکل ۲). نتایج نشان داد که بذر گلرنگ نمی‌تواند بغلتد، بلکه بر روی یکی از سطوح خود می‌تواند بلغزد. اطلاع از میزان چگالی بذر در تعیین میزان بازدهی محصول و راندمان ماشین‌های فرآوری مؤثر می‌باشد. حجم و چگالی نقش مهمی را در فرآیندهای فرآوری و برآورد کیفیت محصول، ایفا می‌کنند. بیشترین کمترین مقادیر چگالی توده‌ای به‌ترتیب برای تیمارهای (bg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و (ag) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع بیوسولفور» به‌دست آمد. مقدار چگالی توده‌ای در محدوده $419.7-559.1 \text{ kg m}^{-3}$ متغیر بود. نتایج نشان از تأثیر معکوس تیمار آبیاری بر چگالی توده‌ای داشت (شکل ۳). با اعمال تیمار آبیاری کامل کمترین مقدار چگالی حقیقی به‌دست آمد. در حالی که بین دو تیمار دیگر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری در سطح $p \leq 0.05$ مشاهده نشد. برای تیمارهای تغذیه‌ای نیز کمترین مقدار در نتیجه اعمال کود بیولوژیک نیتروکسین به‌دست آمد. در واقع می‌توان چنین نتیجه گرفت که اعمال تیمار نیتروکسین سبب متخلخل شدن ساختار درونی بذر می‌گردد. چگالی حقیقی در محدوده $674.8-962.4 \text{ kg m}^{-3}$ متغیر بود (شکل ۴). این بدین معنی است که بذرهای گلرنگ در داخل آب شناور می‌شوند. از این موضوع می‌توان برای جداسازی و پاکسازی مواد سنگین‌تر از گلرنگ استفاده نمود، به‌طوری‌که مواد سنگین در آب ته‌نشین شده و گلرنگ در سطح آب معلق بماند.

میزان تخلخل در محدوده $48/04-30/65$ درصد متغیر بود که بیشترین و کمترین مقادیر به ترتیب برای تیمارهای (ai) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» و (ce) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع هیومیکس» به‌دست آمد. اطلاعات مرتبط با تخلخل و وزن مخصوص، به همراه سایر شاخصه‌های فیزیکی محصولات کشاورزی، به‌عنوان پارامترهای برتر در مطالعات مشتمل بر انتقال جرم و حرارت و عبور جریان هوا از بین توده در نظر گرفته می‌شوند. علاوه بر این، همراه با میزان رطوبت، حجم، وزن مخصوص و تخلخل پارامترهای اساسی برای مطالعه و بررسی، خشک‌سازی و انبارسازی محصولات کشاورزی و مرور کاهش کیفیت مواد تا زمان ورود به بازار فروش می‌باشند.

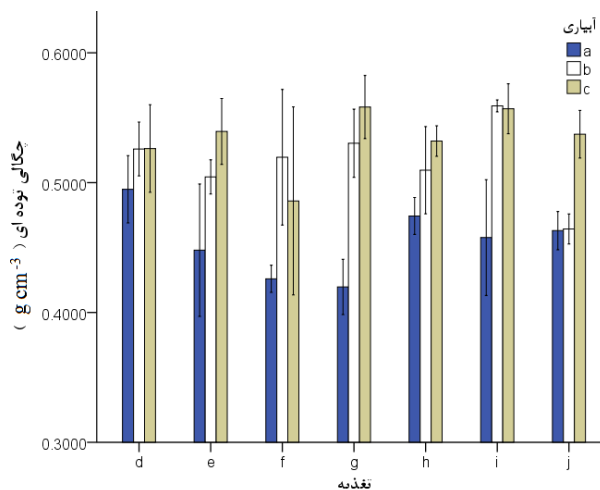
نتایج نشان داد که اکثر تیمارها در سطح $p \leq 0/01$ بر خواص اصطکاکی تأثیر معنی‌دار دارد. فقط تأثیر تیمار آبیاری بر روی ضریب اصطکاک استاتیکی معنی‌دار نبود. از آنجایی‌که اثر متقابل وجود داشت، اقدام به مقایسه بین ۲۱ تیمار شد. در نهایت با آزمون‌های بُن‌فرونی و دانکن محل اختلاف‌ها تعیین شد.

یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و (bi) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» و برای قطر میانگین حسابی متعلق به تیمارهای (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و (bg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» می‌باشد. علل اختلاف در قطر میانگین هندسی و حسابی در نتیجه اعمال تیمارهای مختلف را باید در تأثیر تیمارها بر ابعاد اصلی بذر جستجو نمود، زیرا قطرهای هندسی رابطه مستقیمی با ابعاد دارند و تغییرات ابعاد آن‌ها را تحت تأثیر قرار خواهد داد. بیشترین و کمترین مقدار برای جرم به‌ترتیب برای تیمارهای (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و (ag) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع بیوسولفور» به‌دست آمد. جرم هزار دانه نیز در محدوده $40-55 \text{ gr}$ به‌دست آمد. از آنجایی‌که جرم بذر بستگی نسبی به ابعاد بذر دارد، از این رو پیش‌بینی می‌شد که جرم برای تیمار (cg) از مابقی تیمارها بیشتر باشد. هرچند فاکتورهای دیگری نیز در میزان جرم بذر تأثیر دارند که از آن جمله می‌توان به میزان جرم مغز دانه و عملکرد آن اشاره نمود یا ممکن است ضخامت پوسته زیاد ولی در مقابل کم جرم باشد. آنچه مشاهده شد، نشان از تأثیر مستقیم ابعاد بذر بر جرم بذر بودند. در اکثر موارد قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی سبب افزایش جرم بذر گلرنگ شده است. نکته قابل توجه عملکرد معکوس کاربرد تیمار تغذیه‌ای از نوع بیوسولفور در نتیجه استفاده از آبیاری کامل می‌باشد، به‌طوری‌که در آبیاری کامل کمترین جرم و در قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی بیشترین عملکرد را منجر می‌شود. همین روند برای سایر تیمارها نیز تا حدودی صادق می‌باشد. در حالت کلی میانگین جرم بذر گلرنگ در محدوده $0.040-0.055 \text{ gr}$ متغیر بود. از آنجایی‌که جرم بذر در میزان مواد غذایی بذر نقش مستقیم دارد، بنابراین اعمال تیمار (cg) برای افزایش بهره‌وری و راندمان تولید محصول مؤثر بوده که خود این موضوع سبب تولید فرآورده‌های بیشتری خواهد گشت (شکل ۲).

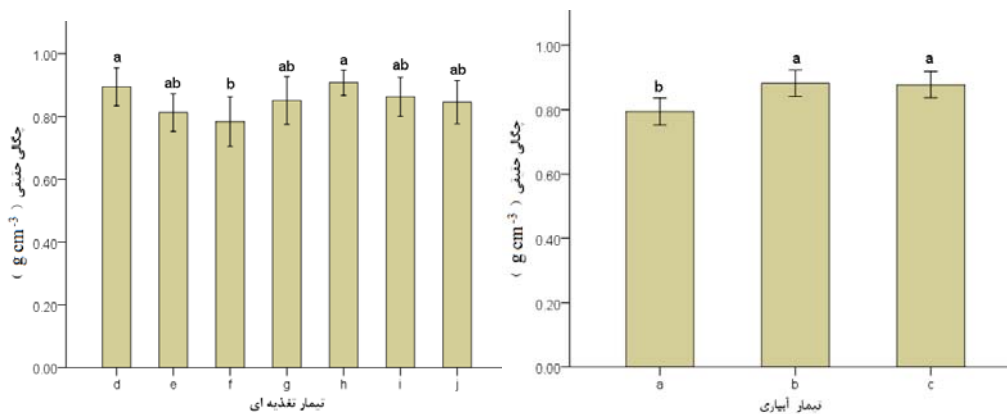
نتایج نشان داد که بیشترین مساحت سطح بذر برای تیمار (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع بیوسولفور» و کمترین مقدار مربوط به تیمار (bi) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» می‌باشد. مساحت سطح میانگین در محدوده $76.66-86.19 \text{ mm}^2$ متغیر است. بیشترین مقدار کرویت برای تیمار (ai) یعنی «آبیاری کامل و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» و کمترین برای تیمار (ci) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه از نوع تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» به‌دست آمد. کرویت از شاخصه‌های شکل بذر است به‌طوری‌که اطلاع از مقدار آن می‌تواند در طراحی دستگاه‌های حمل و نقل، جداسازی، انبارسازی و



شکل ۲- میانگین جرم (چپ) و کرویت بذر (راست) گلرنگ در تیمارهای مختلف
 Fig.2. Means of the safflower seed mass (L) and sphericity (R) at various treatments



شکل ۳- میانگین چگالی توده‌ای بذر گلرنگ در تیمارهای مختلف
 Fig.3. Means of the safflower bulk density at various treatments



شکل ۴- میانگین چگالی حقیقی بذر گلرنگ در تیمارهای آبیاری (چپ) و تغذیه‌ای (راست)
 Fig.4. Means of the safflower seed density at different irrigation (L) and nutrient (R) treatments

معنی‌دار می‌باشند. البته نیروی گسیختگی فقط در سطح $p \leq 0.05$ معنی‌دار بود. در خصوص انرژی گسیختگی برای تیمار آبیاری تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد. از آزمون‌های بُن‌فرونی و دانکن و آنالیز واریانس برای تعیین اختلافات بین تیمارهای مختلف استفاده شد (جدول ۴ و ۵).

نیروی گسیختگی، حداقل مقدار نیروی لازم برای شکستن پوسته بذر یا دانه و یا آسیاب کردن آن می‌باشد. اطلاع از این نیرو در مقیاس صنعتی می‌تواند سبب صرف‌جویی در انرژی مصرفی و جلوگیری از خسارت‌های اقتصادی گردد. نیروی شکست و گسیختگی، یک پارامتر مهم در طراحی ماشین کاهش اندازه می‌باشد، زیرا نیروی اعمالی در طول محورها ممکن است منجر به شکستگی هسته و کاهش کیفیت هسته شود. نتایج نشان داد که تأثیر تیمار آبیاری و تغذیه‌ای در سطح $p \leq 0.05$ و همچنین تأثیر متقابل آن‌ها بر نیروی گسیختگی در سطح $p \leq 0.01$ معنی‌دار می‌باشد. بیشترین و کمترین مقادیر به‌ترتیب ۸۸/۵۷ نیوتن و ۴۶/۶۶ نیوتن و در نتیجه اعمال تیمارهای (ci) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» و (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند. البته اختلاف معنی‌داری بین تیمار (ci) و (ai) از لحاظ آماری وجود نداشت (شکل ۵). با توجه به هدف کاری می‌توان هر کدام از تیمارهای موجود را اعمال نمود، یعنی اگر هدف پوست‌کنی و جداسازی هسته از بذر می‌باشد، بهتر است تیمار (ah) اعمال گردد، زیرا پوسته در مقابل نیرو مقاومت زیادی ندارد. ولی اگر هدف انبارسازی و صادرات و جابه‌جایی در فواصل زیاد می‌باشد، بهتر است تیمار (ci) اعمال گردد تا بدین وسیله از آسیب‌های احتمالی وارده جلوگیری شود. در اکثر موارد مشاهده شد که قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی سبب افزایش میزان نیروی لازم برای گسیختگی می‌شود. شاید علت این موضوع را بتوان این‌گونه تفسیر نمود که با قطع آبیاری در این مرحله، مواد غذایی موجود، در نبود آب کافی سبب سفت‌تر شدن ساختار فیبری پوسته بذر می‌گردند که این پدیده به نوبه خود سبب افزایش قدرت تحمل بذر در زیر بار فشاری می‌گردد. در واقع تبدیل به یک ساختار ترد شبیه به چدن و یا بتون می‌شود که توانایی تحمل بار فشاری زیادی را دارا می‌باشند.

اطلاع از میزان تغییر شکل در لحظه گسیختگی می‌تواند در تعیین میزان فاصله بین دو سطحی که بذر در بین آن‌ها فشرده خواهد شد، استفاده گردد. نتایج نشان داد که تأثیر تیمار آبیاری و تغذیه‌ای و همچنین تأثیر متقابل آن‌ها بر تغییر شکل در لحظه گسیختگی در سطح $p \leq 0.01$ معنی‌دار می‌باشد. بیشترین و کمترین مقادیر به‌ترتیب 0.843 mm و 0.426 mm و در نتیجه اعمال تیمارهای (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و

بدون توجه به نوع تیمارها در اکثر موارد ضرایب اصطکاک بر روی آلومینیوم از همه بیشتر و بر روی چوب تراش خورده از همه کمتر بود. در بیشتر موارد ضریب اصطکاک استاتیکی آلومینیوم از همه بیشتر بوده و بعد از آن ورقه فلزی و چوب تراش خورده قرار دارند. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی ورق آلومینیومی ۰/۳۰۶ و در نتیجه اعمال تیمار (bj) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه شاهد» و کمترین مقدار آن ۰/۲۴۹ و در نتیجه اعمال تیمار (aj) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه شاهد» به‌دست آمد. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی ورق فلزی ۰/۲۹۳ و در نتیجه اعمال تیمار (cf) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه نیتروکسین» و کمترین مقدار آن ۰/۲۴۳ و در نتیجه اعمال تیمار (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس، نیتروکسین)» به‌دست آمد. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی چوب تراش خورده ۰/۲۶۵ و در نتیجه اعمال تیمار (ae) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه هیومیکس» و کمترین مقدار آن ۰/۲۰۶ و در نتیجه اعمال تیمار (ad) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه کود اوره» به‌دست آمد. در تمام موارد ضریب اصطکاک آلومینیوم از همه بیشتر بوده ولی بین ورقه فلزی و چوب تراش خورده روند خاصی مشاهده نمی‌شود. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی ورق آلومینیومی ۰/۲۷۶ و در نتیجه اعمال تیمار (ce) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه هیومیکس» و کمترین مقدار آن ۰/۱۶۰ و در نتیجه اعمال تیمار (bj) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تیمار شاهد» به‌دست آمد. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی ورق فلزی ۰/۲۲۱ و در نتیجه اعمال تیمار (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه بیوسولفور» و کمترین مقدار آن ۰/۰۹۹ و در نتیجه اعمال تیمار (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس، نیتروکسین)» به‌دست آمد. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی چوب تراش خورده ۰/۲۳۰ و در نتیجه اعمال تیمار (ae) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه هیومیکس» و کمترین مقدار آن ۰/۰۴۷ و در نتیجه اعمال تیمار (ad) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه کود اوره» به‌دست آمد. علت بالا بودن ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی بر روی آلومینیوم را باید از دیدگاه میکروسکوپی بررسی و تفسیر نمود. ساختار سطح ورق آلومینیوم فرم خاصی نداشته و شاید سبب درگیر شدن بیشتر ساختار سلولی بذر با سطح آن می‌شود (Mohsenin, 1978)، ولی در مورد چوب تراش خورده، به‌علت اینکه در یک جهت تراش خورده بود، بذر براحتی می‌توانست بر روی آن لیز بخورد. درحالی‌که در جهت عمود بر مسیر تراش خورده ضریب اصطکاک بیشتری به‌دست می‌آمد.

نتایج آنالیز نشان داد که اکثر خواص مکانیکی در سطح $p \leq 0.01$

از انعطاف‌پذیری خیلی بالایی برخوردار است. در واقع پوسته بذر شکل پذیرد زیادی دارد که باید در طراحی دستگاه‌های فرآوری آن را در نظر گرفت. نیتروکسین)» و (bd) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه کودآور» حاصل شدند (شکل ۵). مشاهده شد که تیمار (ah) برخلاف اینکه کمترین نیرو برای شکست را لازم داشت، با این حال

جدول ۴- مقدار میانگین و انحراف معیار خواص مکانیکی بذر گلرنگ و طبقه‌بندی براساس آزمون دانکن

Table 4- Mean and standard deviation values for mechanical properties of safflower seed and Duncan based classification

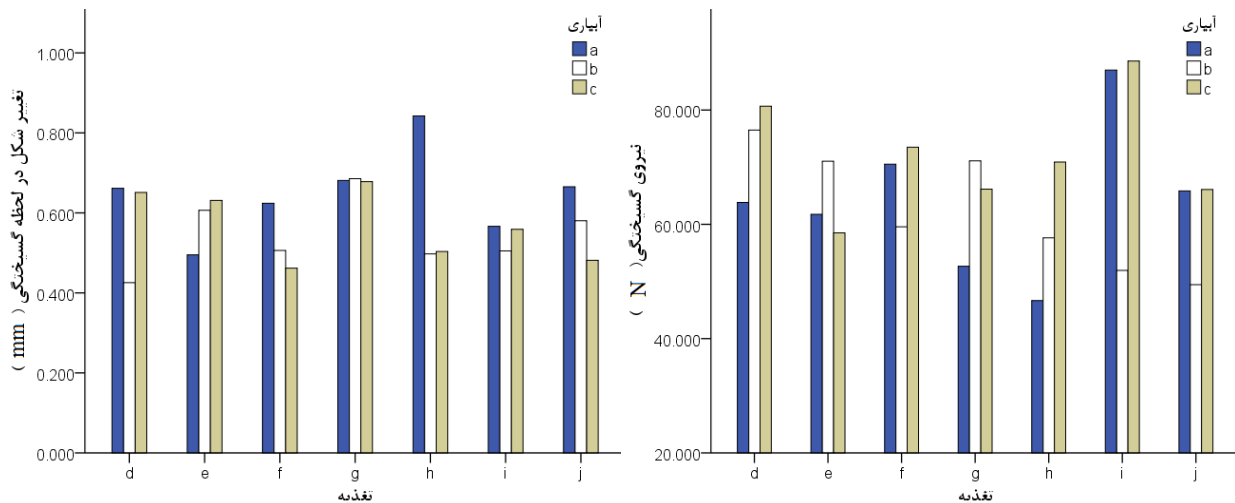
سفتی (نیوتن بر میلی متر) Hardness (N mm ⁻¹)	مدول الاستیسیته (مگاپاسکال) Modulus of elasticity (MPa)	انرژی گسیختگی (ژول) Rupture Energy (J)	تغییر شکل در لحظه گسیختگی (میلی متر) Deformation at rupture point (mm)	نیروی گسیختگی (نیوتن) Rupture force (N)	تیمار Treatment
97.29(21.89) ^{fgh}	136.7(9.19) ^{def}	0.027(0.0034) ^{abcd}	0.661(0.05) ^b	63.83(7.53) ^{cdefg}	ad*
125.99(15.02) ^{cdefg}	135.17(4.37) ^{def}	0.02(0.0096) ^{cdef}	0.495(0.08) ^{defg}	61.75(2.9) ^{cdefg}	ae
133.29(31.44) ^{bcde}	278.9(9.33) ^a	0.016(0.0066) ^f	0.624(0.01) ^{bcd}	70.53(10.7) ^{abcdef}	af
140.92(0.76) ^{bcd}	160.4(47.38) ^{cd}	0.019(0.0038) ^{cdef}	0.681(0.15) ^b	52.67(7.54) ^{efg}	ag
63.96(7.68) ⁱ	66.53(10.31) ^h	0.022(0.0042) ^{bcdef}	0.843(0.04) ^a	46.66(8.1) ^g	ah
116.06(5.73) ^{defgh}	144(9.05) ^{cde}	0.029(0.002) ^{ab}	0.567(0.04) ^{bcdef}	87(6.79) ^{ab}	ai
88.44(13.69) ^{hi}	97.25(13.65) ^{fgh}	0.022(0.0032) ^{bcdef}	0.666(0.04) ^b	65.85(16.05) ^{bcdefg}	aj
182.55(10.02) ^a	221.95(16.33) ^b	0.021(0.0032) ^{bcdef}	0.426(0.09) ^g	76.5(18.67) ^{abcd}	bd
148.21(18.27) ^{bc}	136.9(24.75) ^{def}	0.03(0.0053) ^{ab}	0.607(0.06) ^{bcde}	71.05(23.69) ^{bcdef}	be
109(5.58) ^{efgh}	103(6.93) ^{efgh}	0.017(0.0016) ^{ef}	0.506(0.06) ^{cdefg}	59.57(13.56) ^{cdefg}	bf
148.09(0) ^{bc}	139.25(12.66) ^{def}	0.031(0.0054) ^a	0.686(0.01) ^b	71.1(9.76) ^{abcdef}	bg
100.79(0) ^{fgh}	89.15(10.54) ^{gh}	0.015(0.0031) ^f	0.498(0.02) ^{cdefg}	57.64(5.7) ^{defg}	bh
97.65(10.64) ^{fgh}	128.95(19.45) ^{defg}	0.016(0.0005) ^f	0.505(0.03) ^{cdefg}	51.93(5.1) ^{efg}	bi
90.57(12.08) ^{hi}	120.5(21.07) ^{defg}	0.017(0.0005) ^{ef}	0.581(0.03) ^{bcdef}	49.43(6) ^{fg}	bj
128.63(0.85) ^{bcdef}	205.85(34.58) ^b	0.028(0.0008) ^{abc}	0.651(0.02) ^b	80.67(5.88) ^{abc}	cd
94.91(4.66) ^{gh}	100.05(11.67) ^{fgh}	0.015(0.001) ^f	0.631(0.03) ^{bc}	58.5(2.4) ^{cdefg}	ce
125.12(20.1) ^{cdefg}	144.4(0.57) ^{cde}	0.017(0.0018) ^{ef}	0.462(0.02) ^{fg}	73.5(9.36) ^{abcde}	cf
148.75(9.23) ^{bc}	156.15(5.16) ^{cd}	0.033(0.0045) ^a	0.678(0.03) ^b	66.15(12.52) ^{bcdefg}	cg
141.03(20.95) ^{bcd}	182.6(0.99) ^{bc}	0.02(0.0001) ^{cdef}	0.504(0.01) ^{cdefg}	70.9(9.05) ^{abcdef}	ch
158.93(14.4) ^{ab}	200(6.36) ^b	0.025(0.0006) ^{abcde}	0.559(0) ^{bcdefg}	88.57(5.87) ^a	ci
110.48(2.95) ^{defgh}	130.95(36.27) ^{defg}	0.018(0.0025) ^{def}	0.482(0.11) ^{efg}	66.1(4.81) ^{bcdefg}	cj

* برای اطلاع از نوع هر تیمار به جدول ۱ مراجعه شود.

جدول ۵- آنالیز واریانس و سطح معنی‌داری تیمارها برای خواص مکانیکی

Table 5- ANOVA and significance level of treatments for mechanical properties

Pr > F	F	میانگین مربعات M.S	درجه آزادی DF	متغیر Variables	
0.000	11.573	0.041	2	آبیاری Irrigation	تغییر شکل در لحظه گسیختگی Deformation at rupture point
0.005	4.101	0.014	6	تغذیه Nutrient	
0.000	5.799	0.020	12	تغذیه × آبیاری Nutrient × Irrigation	
0.020	4.476	436.872	2	آبیاری Irrigation	نیروی گسیختگی Rupture force
0.014	3.232	315.473	6	تغذیه Nutrient	
0.007	3.047	297.441	12	تغذیه × آبیاری Nutrient × Irrigation	
0.537	0.638	0.000	2	آبیاری Irrigation	انرژی گسیختگی Rupture Energy
0.000	6.629	0.000	6	تغذیه Nutrient	
0.001	4.079	0.000	12	تغذیه × آبیاری Nutrient × Irrigation	
0.004	6.998	2334.089	2	آبیاری Irrigation	ضریب کشسانی Modulus of elasticity
0.000	16.447	5485.841	6	تغذیه Nutrient	
0.000	15.835	5281.864	12	تغذیه × آبیاری Nutrient × Irrigation	
0.002	8.225	1613.417	2	آبیاری Irrigation	سفتی Hardness
0.000	8.210	1610.341	6	تغذیه Nutrient	
0.000	8.006	1570.382	12	تغذیه × آبیاری Nutrient × Irrigation	

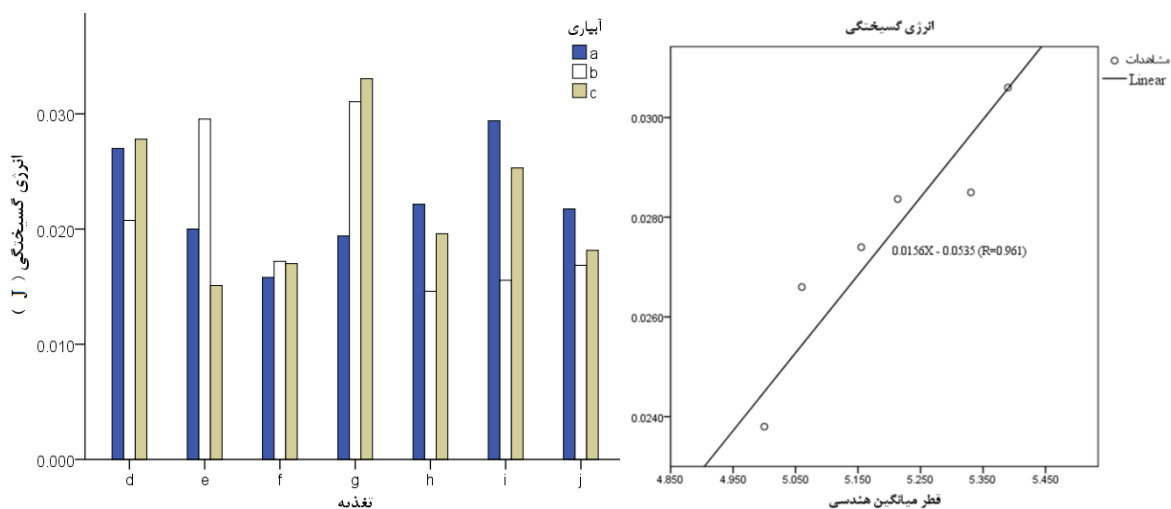


شکل ۵- میانگین نیروی گسیختگی (چپ) و تغییر شکل در لحظه گسیختگی (راست) گلرنگ
 Fig.5. Means of the safflower rupture force (L) and deformation at rupture point (R)

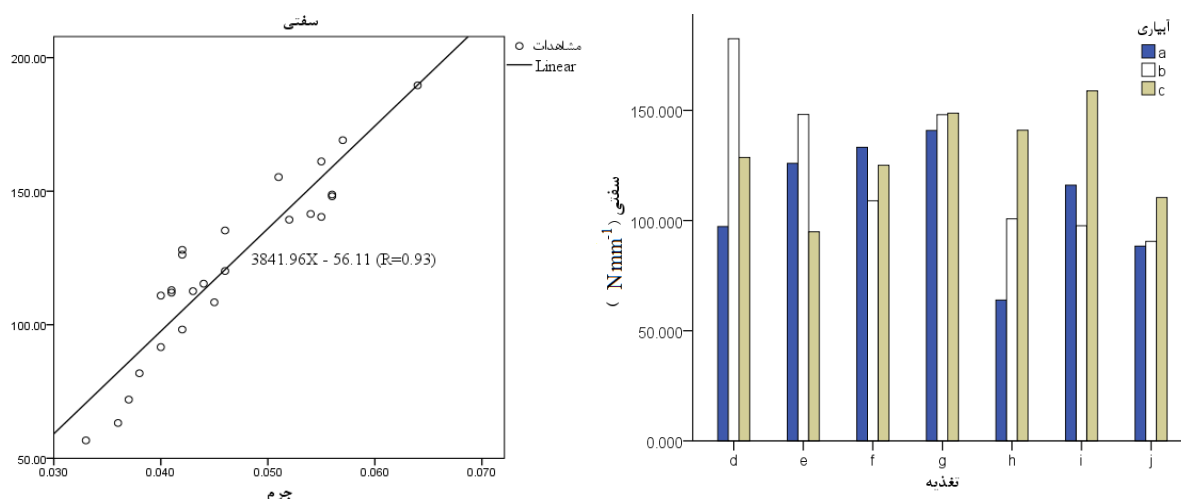
معنی‌داری بین انرژی شکست و اندازه برای میوه و هسته زیتون در تمام جهات توسط گروهی از محققان مشاهده شد. آن‌ها نشان دادند که با افزایش اندازه میوه و هسته زیتون، انرژی شکست در تمام راستاها افزایش یافت که بیانگر این می‌باشد که برای شکست دانه‌های بزرگتر نیروی بیشتری نیز لازم است (kilickan and Gunar, 2008). نتایج مشابهی در مورد بذر گلرنگ نیز مشاهده شد (شکل ۶). سفتی دارای اهمیت خاصی به‌عنوان یک موضوع نهایی در طراحی و توسعه یک ماشین پوست‌کنی بذر و همچنین شاخص مناسبی از تعیین مقاومت بذر در مقابل بار وارده می‌باشد. سفتی نسبتی از نیرو بر تغییر شکل می‌باشد. بیشترین و کمترین مقادیر به ترتیب $182/55 \text{ N mm}^{-1}$ و $63/95 \text{ N mm}^{-1}$ و در نتیجه اعمال تیمارهای (bd) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه کود اوره» و (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند. البته بین تیمار (bd) و (ci) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. از آنجایی که این پارامتر در ارتباط با نیروی گسیختگی و همچنین تغییر شکل می‌باشد، بنابراین مقادیر به‌دست آمده در ارتباط با آن‌ها خواهد بود. نتایج نشان داد که سفتی دانه‌ها با افزایش جرم واحد در بیشتر موارد افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط Oje و Ugbor (1991) نیز مشاهده شده بود (شکل ۷).

به‌عنوان یکی از کاربردها، ضریب کشسانی می‌تواند در شبیه‌سازی ساختار بذر بکار رود. بیشترین و کمترین مقادیر به ترتیب 278.9 MPa و 66.5 MPa و در نتیجه اعمال تیمارهای (af) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه نیتروکسین» و (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند (شکل ۸).

این موضوع در حالت تیمار تغذیه‌ای «شاهد» کاملاً مشهود می‌باشد و می‌توان اظهار نمود که نوع آبیاری تأثیر قابل‌توجهی بر انعطاف‌پذیری پوسته دارد. همچنین با اعمال آبیاری کامل در اکثر تیمارها مشاهده شد که بذر انعطاف‌پذیر می‌گردد. علت این واقعیت را می‌توان در تأثیر نوع آبیاری و تغذیه تلفیقی، در ساختار سلولی و فیبری بذر گلرنگ جستجو نمود. یکی از فاکتورهای مورد استفاده در طراحی ادوات میزان انرژی گسیختگی بذر می‌باشد. اطلاع از این انرژی می‌تواند در بهره‌وری بیشتر از دستگاه‌های پوست‌کنی و استخراج روغن مؤثر باشد. انرژی گسیختگی از آنجایی که کار انجام یافته برای یک پروسه خاص می‌باشد، بنابراین می‌تواند معیار مناسبی از ارزیابی هزینه‌ها و بهینه‌سازی دستگاه‌های فرآوری باشد، زیرا نیروی گسیختگی و تغییر شکل به تنهایی پاسخگوی این نیاز نمی‌باشند. بیشترین و کمترین مقادیر به ترتیب 0.033 J و 0.0146 J و در نتیجه اعمال تیمارهای (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه بیوسولفور» و (bh) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند (شکل ۶). این بدین معنی است که در فرآوری محصول به‌خصوص استخراج روغن، کاربرد تیمار (bh) می‌تواند سبب کاهش هزینه‌های فرآوری گردد. این موضوع هنگامی اهمیت می‌یابد که متوجه می‌شویم، این تیمار نیاز به نیروی کم برای گسیختگی داشته و تغییر شکل در آن نیز نسبتاً کم می‌باشد. در نتیجه توصیه می‌شود اگر هدف استخراج روغن می‌باشد، از این تیمار استفاده گردد. عکس همین مطلب در مورد تیمارهای (bg) و (cg) مشاهده می‌گردد، در واقع استفاده از تیمار تغذیه‌ای بیولوژیک (بیوسولفور) سبب افزایش قابل توجهی در انرژی گسیختگی می‌گردد که البته با توجه به اهداف مورد نظر، این تیمار نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. اختلاف



شکل ۶- رابطه بین قطر میانگین هندسی و انرژی گسیختگی (راست) و میانگین انرژی گسیختگی (چپ) در تیمارهای مختلف
Fig. 6. Relation between geometric mean diameter and rupture energy (R) and Means of the safflower rupture energy (L) at various treatments

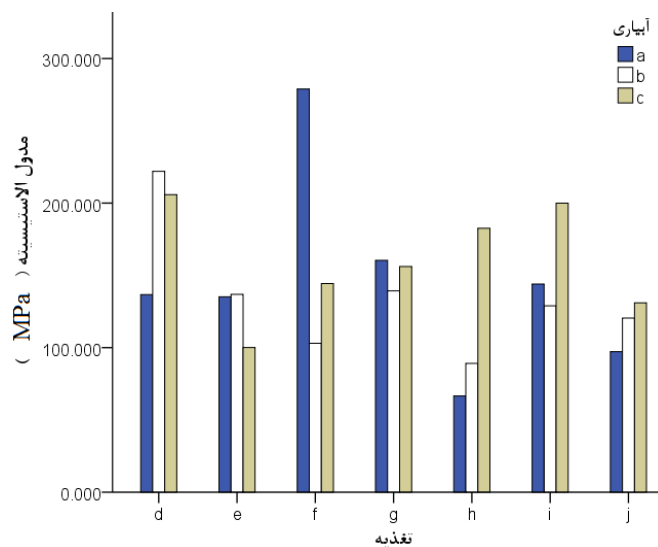


شکل ۷- رابطه بین جرم و سفتی (راست) و میانگین سفتی بذر گلرنگ (چپ) در تیمارهای مختلف
Fig. 7. Relation between mass and hardness (R) and Means of the safflower hardness at various treatments (L)

نتیجه‌گیری

اعمال تیمار هیجدهم (CG) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه بیولوژیک (بیوسولفور)» سبب افزایش رشد در امتداد شعاعی بذر و همچنین افزایش جرم بذر گردید. درحالی‌که تیمار دوم (ae) یعنی «آبیاری کامل و نوع تغذیه ارگانیک (هیومیکس)» باعث رشد طولی بذر شد که باید در طراحی دستگاه‌های مختلف در نظر گرفته شود. مقدار میانگین طول، عرض، ضخامت و جرم بذر گلرنگ در حالت کلی به ترتیب در محدوده 4.31-4.58، 7.51-8.14 mm، 3.56-3.87 mm و 0.040-0.055 gr متغیر بود.

با توجه به هدف مورد نظر می‌توان هر یک از تیمارها را پیشنهاد نمود. ضریب کشسانی در واقع نشان‌دهنده مقاومت یک ماده در برابر تنش‌های موجود می‌باشد، بنابراین اگر هدف، پوست‌کنی و یا استخراج روغن باشد، بهتر است از تیمار (ah) استفاده گردد. ضریب کشسانی به ماده سازنده بستگی داشته و به خواص فیزیکی مربوط نمی‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که اعمال تیمار (ah) سبب به‌وجود آمدن ساختاری ضعیف‌تر در مقایسه با سایر تیمارها شده است که این موضوع می‌تواند در طراحی دستگاه‌های مختلف فرآوری مدنظر قرار بگیرد. همان‌گونه که مشاهده شد این موضوع در میزان نیروی لازم برای شکست بذر نیز مشاهده شده بود.



شکل ۸- میانگین ضریب کشسانی بذر گلرنگ در تیمارهای مختلف

Fig.8. Means of the safflower modulus of elasticity at various treatments

مقادیر تغییر شکل به ترتیب 0.843 mm و 0.426 mm و در نتیجه اعمال تیمارهای (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» و (bd) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه کود شیمیایی (اوره)» حاصل شدند. بیشترین و کمترین انرژی گسیختگی به ترتیب $J 0.33$ و $J 0.146$ و در نتیجه اعمال تیمارهای (cg) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه بیولوژیک (بیوسولفور)» و (bh) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند. اختلاف معنی‌داری بین انرژی شکست و اندازه برای بذر گلرنگ مشاهده شد. کاربرد کودهای ارگانیک به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی توصیه می‌گردد، زیرا علاوه بر مسائل زیست‌محیطی، سبب تغییر قابل توجهی در خواص فیزیکی و مکانیکی بذر شده و سودآوری را بیشتر و هزینه‌های فراوری را کاهش می‌دهد. با توجه به هدف زراعت، کاربرد نوع به‌خصوصی از تیمار توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

از گروه زراعت دانشگاه ارومیه به‌خاطر همکاری در انجام تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایم.

بذرها قابلیت غلتش نداشته و فقط بر روی سطح سکون خود توانایی لغزش داشتند. نتایج نشان از تأثیر معکوس تیمار آبیاری بر چگالی توده‌ای داشت. با اعمال تیمار آبیاری کامل کمترین مقدار چگالی حقیقی به‌دست آمد. برای تیمارهای تغذیه‌ای نیز کمترین مقدار در نتیجه اعمال تیمار بیولوژیک (بیوسولفور) به‌دست آمد. مقدار چگالی حقیقی در محدوده $962/4 - 674/8 \text{ kg m}^{-3}$ متغیر بود که از این خاصیت می‌توان برای جداسازی مواد سنگین‌تر از گلرنگ استفاده نمود. تخلخل در محدوده $30/65 - 48/04$ درصد متغیر بود. نتایج نشان داد که اکثر تیمارها در سطح $p \leq 0.01$ بر خواص اصطکاکی تأثیر معنی‌دار دارد. بدون توجه به نوع تیمارها در اکثر موارد ضرایب اصطکاک بر روی آلومینیوم از همه بیشتر و بر روی چوب تراش خورده از همه کمتر بود. اکثر خواص مکانیکی در سطح $p \leq 0.01$ معنی‌دار بودند. البته نیروی گسیختگی فقط در سطح $p \leq 0.05$ معنی‌دار بود. در خصوص انرژی گسیختگی برای تیمار آبیاری تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین و کمترین مقادیر به‌ترتیب $88/57$ نیوتن و $46/66$ نیوتن و در نتیجه اعمال تیمارهای (ci) یعنی «قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و بیوسولفور)» و (ah) یعنی «بدون قطع آبیاری و تغذیه تلفیقی (کود اوره، هیومیکس و نیتروکسین)» حاصل شدند. بیشترین و کمترین

منابع

1. Aliyari, H., F. Shkari, and F. Shkari. 2000. Oil seeds: cultivation and physiology. Tabriz Amidi Press. First edition. (In Farsi).

2. Baumler, E., A. Cuniberti, S. M. Nolasco, and I. C. Riccobene. 2006. Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Food Engineering*, 72: 134-140.
3. FAO. 2008 and 2009. Available from <http://www.fao.org/>.
4. Figueiredo, A. K., E. Baumler, I. C. Riccobene, S. M. Nolasco. 2011. Moisture-dependent engineering properties of sunflower seeds with different structural characteristics. *Food Engineering*, 102: 58-65.
5. Gupta, R. K., G. Arora, and R. Sharma. 2007. Aerodynamic properties of sunflower seed (*Helianthus annuus L.*). *Food Engineering*, 79: 899-904.
6. Hernandez, L. F., and P. M. Belles. 2007. A 3-D finite element analysis of the sunflower (*Helianthus annuus L.*) fruit. Biomechanical approach for the improvement of its hullability. *Food Engineering*, 78: 861-869.
7. Karaj, S., and J. Muller. 2010. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas L.* *Industrial Crops and Products*, 32: 129-138.
8. Kilickan, A., and M. Gunar. 2008. Physical properties and mechanical behavior of olive fruits (*Olea europaea L.*) under compression loading. *Food Engineering*, 87: 222-228.
9. Mohsenin, N. N. 1978-1980-1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. New York. Gordon and Breach Science Publishers.
10. Malek, F. 2000. *Vegetable and edible fats and oils*. Farhang and Ghalam Press. (In Farsi).
11. Oje, K., and E. C. Ugbor. 1991. Some physical properties of oilbean seed. *J. Agric. Eng. Res.*, 50, 305-313.
12. Razavi, M. A., and R. Akbari. 2006. *Biophysical properties of agricultural materials and food products*. Ferdowsi University of Mashhad Press. First edition. (In Farsi).
13. Sharma, R., D. S. Sogi, and D. C. Saxena. 2009. Dehulling performance and textural characteristics of unshelled and shelled sunflower (*Helianthus annuus L.*) seeds. *Food Engineering*, 92: 1-7.

The Effect of Load and Inflation Pressure of a Stiff-Carcass Tyre on selected Soil Compaction Related Factors

A. Sharifi Malvajerdi^{1*} - M. Younesi Alamouti² - A. Mohsenimanesh³

Received: 21-12-2011

Accepted: 17-07-2012

Abstract

Soil compaction can occur as a result of a number of factors. One of the most important factors is soil response to pressures imposed by wheels and soil engaging tools. This research investigated the effect of tyre load and inflation pressure on soil compaction-related factors. These factors include rut width, rut depth, cone index and horizontal force in different layers of soil profile. In this research a stiff carcass tyre has been used and a soil compaction profile sensor in controlled soil bin laboratory conditions. This sensor consisted of eight flaps, each equipped with strain gauges, installed on a subsoiler leg face with working depth of 45 cm. Studies were conducted using a factorial experiment at two levels of axle load of 6.3 kN and 23.9 kN and three levels of inflation pressure of 324 kPa, 524 kPa and 724 kPa with three replications in a randomized complete design. Duncan test and F test were applied to compare the means of pressure and axle load, respectively. The soil compaction profile sensor measured soil compaction at different layers from soil surface to 45 cm depth at 5 cm interval. The results of experiments indicated that vertical load significantly affected the horizontal force at different tyre inflation pressures on the soil profile. The tyre inflation pressure exhibited greater effects on shallow depths than those of higher depths. The amount of rut width, rut depth and cone index increased with an increase in vertical load. Increasing of the inflation pressure decreased rut width and increased rut depth and cone index.

Keywords: Axle load, Sensor, Inflation pressure, Soil compaction, Tyre

1, 2, 3- Research Assistant Professors, Ministry of Agricultural Jihad, Research Institute of Agricultural Engineering, Karaj, Iran.

(* - Corresponding Author Email: ahmadsharifi47@yahoo.com)

Computer Vision Utilization for Detection of Green House Tomato under Natural Illumination

H. Mohamadi Monavar^{1*} - R. Alimardani² - M. Omid³

Received: 06-09-2011

Accepted: 06-08-2012

Abstract

Agricultural sector experiences the application of automated systems since two decades ago. These systems are applied to harvest fruits in agriculture. Computer vision is one of the technologies that are most widely used in food industries and agriculture. In this paper, an automated system based on computer vision for harvesting greenhouse tomatoes is presented. A CCD camera takes images from workspace and tomatoes with over 50 percent ripeness are detected through an image processing algorithm. In this research three color spaces including RGB, HSI and YCbCr and three algorithms including threshold recognition, curvature of the image and red/green ratio were used in order to identify the ripe tomatoes from background under natural illumination. The average error of threshold recognition, red/green ratio and curvature of the image algorithms were 11.82%, 10.03% and 7.95% in HSI, RGB and YCbCr color spaces, respectively. Therefore, the YCbCr color space and curvature of the image algorithm were identified as the most suitable for recognizing fruits under natural illumination condition.

Keywords: Computer vision, RGB, HSI and YCbCr color spaces, Greenhouse tomato, Natural illumination

1, 2, 3- PhD student and Professors, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, respectively.

(* - Corresponding Author Email: mohamadi_085@ut.ac.ir)

The Effect of Vegetation Coverage and Greenhouse Area on the Performance of an Earth-to-Air Heat Exchanger in Cooling Mode of Greenhouse

M. Mohammadi Mogharreb^{1*}- M. H. Abbaspour-Fard²- M. Goldani³- B. Emadi⁴

Received: 27-09-2012

Accepted: 21-02-2012

Abstract

The underground temperature at a depth of about three to four meters is almost constant during the year. As a result in summer the underground is cooler than the ambient temperature. This potential is considered for greenhouse cooling by using an Earth-to-Air Heat Exchanger (EAHE). In this research the effects of two parameters were investigated: a) the area of greenhouse in three levels of 9, 18, 27 m² and b) the percent of vegetation coverage inside the greenhouse in three levels of 0%, 50%, 100% on the performance of EAHE. The experimental design was factorial experiment in a randomized complete block design. The parameters of greenhouse's inside temperature, thermal energy exchange and coefficient of performance (COP) were considered in cooling mode. As one of the remarkable results it was observed that the closed loop utilization of the system was infeasible in cooling mode. This was mainly due to the occurrence of vapor distillation inside the underground pipes and hence the blockages of the air flow. Also the effect of area and the percent of vegetation coverage were significant on the performance of EAHE. The highest average temperature difference between the temperature of testimonial greenhouse and the temperature of greenhouse was observed in treatment of 100% vegetation coverage and 9 m² floor area which was measured as 9.6°C. The least average temperature difference in the treatment without vegetation coverage and 27 m² floor area was measured as 5.2 °C. Considering thermal energy exchange in cooling greenhouse with open loop, the best treatment determined for EAHE in this research was the one with 9 m² floor area and 100% of vegetation coverage.

Keywords: Temperature difference, Energy exchange, Cooling, Earth-to-Air Greenhouse, Heating

1, 2, 4- Msc student, and Associate Professors, respectively, Dept. of Agricultural Machinery, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

(*- Corresponding Author Email: m.mogharreb@gmail.com)

3- Assistant Prof., Dept. Of Agronomy, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Effects of Tillage Practices on Soil Penetration Resistance, Technical Parameters and Wheat Yield

S. M. j. Afzali^{1*}- E. Javaheri²

Received: 27-07-2011

Accepted: 27-02-2012

Abstract

This study was carried out to evaluate the effects of tillage practices (with different depths) on soil penetration resistance, technical parameters and grain yield of wheat crop. The experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications for two years. Treatments included: moldboard plow followed by two passes of disc harrow and leveler (CT), two passes of disc harrow plus leveler (RT), subsoiler followed by two passes of disc harrow and leveler (S₁D) and subsoiler followed by rotivator (S₁R). The results showed that soil compaction and penetration resistance increased at the end of growth stages because of irrigation operations and cohesion force of soil particles. However due to increasing of cumulative infiltration, it can be concluded that subsoiler caused the formation of micro cracks in different depths of soil. From technical indices viewpoint comparing to CT treatment, S₁D and S₁R treatments saved fuel consumption up to 2.2 and 10.44 lit ha⁻¹ and tillage operation time up to 0.58 and 1.54 h ha⁻¹, respectively. The result of grain yield assessment showed an increase of 8.5% in grain yield after replacing moldboard plow with annual subsoiling. Subsoiling has advantages such as, good technical indices, elimination of preplanting irrigation and fewer operations in planting time. Finally, subsoiling increased grain yield by 22% as compared to reduced tillage practice.

Keywords: Tillage, Subsoiler, Soil compaction, Wheat

1- Researcher of Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research Center (Agricultural Engineering Department).

(*- Corresponding Author Email: moja_afzali@yahoo.com)

2- Member of scientific Board of Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research Center.

The Effect of Three Common Grain Drills on Dryland Wheat Yield

A. Heidari^{1*}- I. Eskandari²

Received: 30-07-2011

Accepted: 17-07-2012

Abstract

A three-year field experiment (2004-2007) was conducted on a silty clay loam soil at Tajarak Research Station of Hamedan to determine proper grain drill for wheat in Hamedan dryland areas. In this study, three grain drills including: Hamedani Barzegar; Sahalan Kesht; and Kesht Gostar with wheat seed broadcasting and disking were used. The experiment was a randomized complete block design with four replications. In laboratory, the precision of metering device and the amount of seed damage by metering mechanism were measured. At the end of growth season (harvesting time), crop yield and the associated parameters (spike per m², number of grain per spike, wheat kernel) were determined. Results showed that planting methods did not affect wheat grain yield significantly. However, wheat grain yield was significantly higher for Kesht Gostar grain drill than the other two machines in two drier years. Mean wheat grain yield was 1224 kg ha⁻¹. Mean wheat grain yield was the greatest (1275 kg ha⁻¹) for Kesht Gostar and the least (1174 Kg ha⁻¹) for Hamedani Barzegar grain drill. Mean straw yield was not affected by planting methods. Mean wheat straw yield was the greatest (2349 kg ha⁻¹) for Hamedani Barzegar grain drill, and the least (2009 Kg ha⁻¹) for the combination of seed broadcasting and disking. The amounts of rainfall during growing season strongly influenced wheat grain and straw yields. Mean wheat grain yield was 1572 Kg ha⁻¹ and 1026 Kg ha⁻¹ in wet year and dry years, respectively. This study showed that a wide range of grain drills is adaptable for dryland wheat cropping system for the semiarid Hamedan areas.

Keywords: Proper drill, Dryland, Yield, Wheat, Hamedan

1- Researcher and Academic Staff. Agricultural Engineering Research Department, Agriculture and Natural Resources Research Center, Hamedan, Iran.

(*- Corresponding Author Email: heidari299@yahoo.com)

2- Researcher and Academic Staff. Dryland Agricultural Research Institute.

Laboratory Sensitivity Study of Two Cultivars of Strawberry (*Fragaria x ananass*) Fruit to Bruising

S. Aliasgarian Najafabadi^{1*} - H. R. Ghasemzadeh² - M. Moghaddam³

Received: 19-10-2011

Accepted: 01-07-2012

Abstract

In the present research, susceptibility of two strawberry cultivars (Selva and Gavita) to bruising was studied. Individual fruits were subjected to impact and compressive forces. Impact forces were applied through dropping the fruits from predetermined heights as well as pendulum. Bruising volume was considered as damage index. In both methods bruising severity was increased as a function of impact energy. Dropped fruits were showed higher bruising volume than those of fruits impacted by pendulum for similar energy levels. Increasing energy level by a factor of four (from 0.022 to 0.082 J) caused the bruise volume to increase by a factor of three (from 46 to 134.5 mm³). Increasing drop height from 18 cm (0.026 J) to 54 cm (0.079 J) caused the bruise volume to increase up to 35%. Bruise severity due to compression force was higher than those of obtained from other tests. Doubling the loading time from 2 to 4 seconds showed no significant difference in bruise volume. Although Gavita variety had greater sensitivity to bruising than Selva variety, the effect of variety was significant only in impact test with pendulum tester.

Keywords: Strawberry, Drop, Impact, Compression, Bruise

1- Graduate Student of Agricultural Mechanization Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

(*- Corresponding Author Email:sa_ir_al@yahoo.com)

2- Professor of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

3- Professor of Crop and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

Investigation of Apple Vibration Characteristics Using Finite Element Modal Analysis

R. Mirzaei^{1*}- S. Minaei²- M. H. Khoshtaghaza³- A. M. Borghaeae⁴

Received: 09-04-2011

Accepted: 27-02-2012

Abstract

The most important quality indicator of fruits is the flesh firmness which is well correlated to their young's modulus. In this research variation of vibration characteristics (shape modes, natural frequency) of apple due to change of material characteristics (density, young's modulus, Poisson ratio) and apple volume was investigated using Finite Element simulation. An image processing technique was used to obtain an unsymmetrical and non-spherical geometric model of apple. The exact three-dimensional shape of the fruit was created by determining the coordinates of apple surface and forming uneven rotational curvatures. Modal analysis with no boundary constraints has been applied. The first 20 Eigen frequencies and the corresponding mode shape were determined. Six rigid body modes possess zero resonant frequency which is related to the degree of freedom of a rigid body in space indicated the validity of finite element model. The modal analysis results showed that resonant frequency increased by increasing young's modulus of the fruit, while it decreased by increasing apple density. First mode torsion has a mean resonant frequency of 584 Hz. Variations of natural frequency due to change in young's modulus, density, and Poisson ratio were 80%, 11% and 4%, respectively. Coefficient of variation of resonant frequency in response to changing young's modulus was 2-3 times of that of density which shows the greatest effect of young modulus changes on natural frequency of fruits. Consequently with determination of fruits' natural frequency, their young modulus and firmness can be estimated.

Keywords: Modal analysis, Finite Element Method, Apple, Mode shape, Resonant frequency

1, 4- Graduated PhD student and Professor, respectively, Department of Mechanic of Agricultural Machinery, Islamic Azad University, Science and Research Branch. Teheran, Iran.

(*- Corresponding Author Email: rm_mirzaei52@yahoo.com)

2, 3- Associate Professors, Tarbiat Modares University, Teheran, Iran.

Investigation of the Effects of Irrigation and Nutrient Treatments on Biophysical and Biomechanical Properties of Safflower Seed

M. Feyzollahzadeh^{1*}- A. M. Nikbakht²- A. Modarres Motlagh³

Received: 07-04-2012

Accepted: 06-07-2012

Abstract

Safflower is a strategic plant regarding to its valuable nutrition value (45% extractable oil) and industrial uses. Due to massive import of edible oil to the country as well as high potential for safflower cultivation, the research on production of safflower for oil extrusion purpose is of remarkable importance. The design of various processing and oil extraction units and also their optimization which are in relation to seed attributes is essential. In this paper the effects of different irrigation and nutrient treatments on some important physical and mechanical properties of IL111 varieties of safflower seed were investigated. The measured properties included size, mass, volume, surface area, arithmetic and geometric mean diameter, sphericity, bulk and true densities, porosity, static and dynamic coefficient of friction, rupture force, deformation at rupture point, rupture energy, modulus of elasticity and seed hardness. The results indicated a significant effect of treatments on the biophysical and biomechanical properties at $p \leq 0.01$. The maximum seed mass, geometric mean diameter and rupture energy were obtained when the (cg) treatment applied i.e. "Cut-off irrigation at the growth stage and bio sulfur nutrition". Seed mass was found to be 0.040 gr to 0.055 gr. Results also showed a significant effect of geometric mean diameter on mass and rupture energy and also mass on seed hardness. Direct correlations observed between seed mass and rupture energy, which indicates that for larger and heavier seeds, much more energy required for oil extraction. The maximum rupture energy was measured as 0.033 J.

Keywords: Biophysical and Biomechanical properties, Oil, Treatments, Safflower

1, 2, 3- MSc student, Assistant Professor and Associate Professor, respectively, Dept. of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

(* - Corresponding Author Email: mazynas@gmail.com)