



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی

جلد ششم - شماره ۲۲ - بهار ۱۳۸۴

فهرست مقالات:

- بررسی عملکرد محصول و کارایی مصرف آب چغندر قند در روش های آبیاری جویچه ای و بارانی
سید ابوالقاسم حقایقی مقدم، قاسم توحیدلو و سید حسین صدقائین ۱
- تأثیر آبیاری جویچه ای با کاشت یک ردیفه و دو ردیفه بر بازده مصرف آب و صفات کمی و کیفی چغندر قند در شرق استان اصفهان
منوچهر ترابی و محمدرضا جهاد اکبر ۱۵
- اثر تنش های آبی در مراحل مختلف رشد بر کمیت و کیفیت دو رقم گوجه فرنگی (کال جی و موبیل)
سید حسن موسوی فضل و علیرضا محمدی ۲۷
- تعیین مدول برش الاستیسیته خاک برای به کارگیری در مدل Plaxis - مطالعه موردی (ترک خوردگی طولی سیل بند خاکی در هلند)
مهدی جعفری باری ۴۱
- بررسی اثر دور تویی و سطح مقطع خروجی در ماشین سفیدکن تیغه ای، بر روی میزان شکستگی برنج
شعبان قوامی، علیمحمد برقی و احمد طباطبایی فر ۵۳
- تعیین انرژی مصرفی در دو روش سنتی و نیمه مکانیزه برای تولید برنج (بررسی موردی در استان گیلان)
میرحسین پیمان، غلامرضا روحی و محمدرضا علیزاده ۶۷
- شبیه سازی عددی رفتار دینامیکی مواد دانه ای کشاورزی در محیط های گسسته با ارائه مدلی با المانهای مجزا
محمد حسین عباسپور فرد ۸۱
- بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد ترک و خرده برنج در اثر خشک کردن شلتوک طی فرآیند تبدیل
سعید مینایی، غلامرضا روحی و محمدرضا علیزاده ۹۷
- اثر خشک کردن چند مرحله ای بر بازده تبدیل و مدت زمان خشک کردن شلتوک
کبری تجددی طلب ۱۱۳
- تأثیر ضخامت فیلم، آرایش میوه (یک لایه یا دو لایه) و اندازه بسته بندی بر عمر انباری زردآلو
زهرا شیخ الاسلامی و محمد علی شاه بک ۱۲۵



صاحب امتیاز: موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

مدیر مسئول: دکتر ارژنگ جوادی

سرمدیر: دکتر مرتضی الماسی

هیأت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا):

دکتر مرتضی الماسی	استاد، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران
دکتر زهرا امام جمعه	استادیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
دکتر محمد حسین امید	استادیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
دکتر پرویز ابرانی	استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
دکتر ابراهیم پذیرا	استاد، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی تهران
دکتر ارژنگ جوادی	استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
دکتر حسن رحیمی	استاد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
دکتر قاسم زارعی	استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
دکتر محمد علی سحری	دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
دکتر محمد شاهی	استاد، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان
دکتر احمد طباطبایی فر	دانشیار، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
مهندس عباس کشاورز	استادیار پژوهش، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی
دکتر علیرضا کیهانی	استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

بررسی کنندگان این شماره:

- سید محمد علی ابراهیم زاده موسوی	- رامین رافضی	- محمد شاهی	- علیرضا کیهانی
- مرتضی الماسی	- حسن رحیمی	- میر خالق ضیاء تبار احمدی	- حمیدرضا گازر
- زهرا امام جمعه	- علی رجبی پور	- احمد طباطبایی فر	- داریوش فتح اله طالقانی
- بهجت تاج الدین	- شاهین رفیعی	- نادر عباسی	- عبدالمجید لیاقت
- اصغر خسرو شاهی اصل	- عبدالجلیل زربخش	- رضا علیمردانی	- بهروز مصطفی زاده
- محمد هادی خوش تقاضا	- علیرضا سپاسخواه	- عبدالکریم کاشی	- سید فرهاد موسوی
- محمد هادی داودی	- حمید سیادت	- علیرضا کوچکی	- سعید مینایی
- مجید راحمی	- محمد شاکر	- محمد حسین کیانمهر	

ویراستار ادبی: محمدرضا داهی

مدیر داخلی: هما بهمدی

تایپ و صفحه آرایی کامپیوتری: بنفشه فرزانه

چاپ و صحافی: گیلان چاپ

این نشریه تحت شماره ۱۳۸/۸۰ مورخ ۱۳۸۰/۲/۲۷ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

آدرس: کرج - بلوار شهید فهمیده - روبروی پایانه شهید کلاتری - مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
تلفن: ۲۷۰۵۳۲۰ و ۲۷۰۵۲۴۲ و ۲۷۰۸۳۵۹-۰۲۶۱، دورنگار: ۲۷۰۶۲۷۷-۰۲۶۱



بررسی عملکرد محصول و کارایی مصرف آب چغندر قند در روش‌های

آبیاری جویچه‌ای و بارانی^۱

سید ابوالقاسم حقایقی مقدم، قاسم توحیدلو و سید حسین صدرقاین^۲

۱- چکیده:

تأمین نیاز آبی چغندر قند با روش‌های نوین آبیاری نظیر آبیاری بارانی، آبیاری قطره‌ای، و آبیاری زیرسطحی موضوعی است که به دلیل طولانی بودن دوره رشد این گیاه و نیاز آبی نسبتاً زیاد آن درخور اهمیت فراوان است. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر روش‌های آبیاری سطحی (جویچه‌ای) و آبیاری بارانی روی عوامل کمی و کیفی محصول چغندر قند و همچنین مقایسه میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب در روش‌های آبیاری مذکور در سال ۱۳۸۰ در منطقه کمال آباد کرج در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: ۱- آبیاری بارانی در کرت‌هایی به ابعاد ۷۲×۳۰ متر، ۲- آبیاری جویچه‌ای معمولی در کرت‌هایی به ابعاد ۸۲×۴ متر و ۳- آبیاری جویچه‌ای با کاهش دبی جریان در کرت‌های به ابعاد ۸۲×۴ متر. میزان آب آبیاری در هر نوبت در تیمار آبیاری بارانی با روش پنمن-مانتیت برای چغندر قند در منطقه کرج برآورد و اعمال گردید. تیمار آبیاری جویچه‌ای معمولی بر اساس عرف کشاورزان محلی در نظر گرفته شد. در تیمار آبیاری جویچه‌ای با کاهش دبی جریان، دبی جریان ورودی به جویچه‌ها به اندازه $۰/۸ - ۰/۷$ دبی جویچه‌ای معمولی بعد از رسیدن آب به انتهای شیار بود. نتایج نشان داد که صفات عیار قند ناخالص، ناخالصی‌های ریشه (پتاسیم، سدیم، و نیتروژن آلفا)، عیار قند خالص، ضریب استحصال، قند ملاس، وزن اندام هوایی، وزن ریشه، شکر ناخالص، و شکر خالص تحت تأثیر سه روش آبیاری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند. میزان آب مصرفی، کارایی مصرف آب برای وزن ریشه، و کارایی مصرف آب برای شکر ناخالص تحت اثر روش‌های آبیاری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد و روش آبیاری بارانی بر دو روش دیگر برتری داشت. آبیاری بارانی نسبت به آبیاری جویچه‌ای معمولی ۳۱ درصد کاهش در میزان مصرف آب آبیاری و ۵۵ درصد افزایش در کارایی مصرف آب (بر اساس وزن ریشه) نشان داد. روش آبیاری جویچه‌ای با کاهش دبی جریان در وزن ریشه و کارایی مصرف آب (بر اساس وزن ریشه) در سطح ۵ درصد با روش آبیاری بارانی اختلاف معنی‌داری نداشته لذا قابلیت رقابت با آن را دارد.

۲- واژه‌های کلیدی:

آبیاری بارانی، آبیاری جویچه‌ای، چغندر قند، کارایی مصرف آب

۱- برگرفته از طرح تحقیقاتی "مقایسه فنی و بررسی راندمان مصرف آب و عملکرد در دو روش آبیاری بارانی و نشتی بر روی

چغندر قند"، به شماره ثبت ۲۳۸۵ که با حمایت مالی شورای پژوهشهای علمی کشور به انجام رسید.

۲- به ترتیب عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج، بلوار شهید فهمیده، مقابل بانک کشاورزی،

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، صندوق پستی ۳۱۵۸۵-۸۴۵، کارشناس ارشد زراعت مؤسسه تحقیقات چغندر

قند و عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

۳- مقدمه:

- زمینه پژوهش در جهت کاربرد

روش‌های آبیاری به دو دسته کلی سطحی و تحت فشار تقسیم می‌شوند. آبیاری سطحی رایج‌ترین شیوه آبیاری است و با وجود پیشرفت فناوری و ابداع روش‌های نوین آبیاری تحت فشار، هنوز بیش از ۹۵ درصد از کل اراضی فاریاب به این طریق آبیاری می‌شود. روش آبیاری بارانی در مقایسه با روش‌های آبیاری سطحی بازده کاربرد بیشتری دارد و می‌توان آن را برای بیشتر گیاهان در شرایط آب و هوایی مرطوب تا خشک و برای بافت‌های خاک سبک تا نسبتاً سنگین به کار گرفت. چغندر قند با سطح زیر کشت حدود ۱۸۶ هزار هکتار در کشور از جمله محصولات عمده و با اهمیت به لحاظ خودکفایی در تولید شکر مورد نیاز داخلی است. متوسط طول دوره رشد چغندر قند ۲۰۰ روز و متوسط آب مورد نیاز خالص آبیاری آن ۸۸۰۰ مترمکعب در هکتار در سطح کشور برآورد می‌شود [۵].

تأمین نیاز آبی چغندر قند در روش‌های نوین آبیاری نظیر آبیاری بارانی، آبیاری قطره‌ای، و آبیاری زیرسطحی به دلیل طولانی بودن دوره رشد این گیاه و نیاز آبی نسبتاً زیاد آن در خور اهمیت است.

- پیشینه پژوهش

مقایسه روش‌های آبیاری جویچه‌ای و بارانی برای یافتن میزان صرفه‌جویی در مصرف آب و دستیابی به معایب و محاسن هر روش، از جمله تحقیقاتی است که تا کنون برای محصولات مختلف انجام شده است؛ اکبری (۱۳۷۷)، تأثیر روش‌های آبیاری جویچه‌ای و بارانی را روی محصول

سیب‌زمینی در منطقه فریدن اصفهان بررسی کرد. نتایج این پژوهش نشان داده است که روش بارانی در مقایسه با روش جویچه‌ای عملکرد بالاتری به دست می‌دهد و موجب ۳۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود. ریاحی (۱۳۷۸)، کارایی مصرف آب دو روش آبیاری بارانی و سطحی را روی محصول گندم در منطقه نگار بردسیر از توابع کرمان مقایسه کرده است. نتایج نشان می‌دهد که در روش بارانی، بین تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد تبخیر از تشت کلاس A تفاوتی معنی‌دار در عملکرد وجود ندارد ولی در روش سطحی این اختلاف در عملکرد معنی‌دار است. بهترین تیمار روش آبیاری بارانی با میزان آبیاری معادل ۵۰ درصد تبخیر از تشت معرفی شده است. شوارتز و همکاران (۱۹۷۸)، در آزمایش‌های مزرعه‌ای در اردن بین افزایش عملکرد ریشه چغندر قند و سطوح آبیاری با استفاده از آبیاری بارانی، رابطه خطی به دست آوردند. نشان داده شده است که کارایی مصرف آب در روش بارانی با مصرف نیتروژن افزایش می‌یابد. در آزمایشی که شافر (۱۹۷۹) به منظور بررسی کارایی مصرف آب در روش بارانی روی محصولات مختلف انجام داد معلوم شد که چغندر قند نسبت به سایر محصولات کارایی مصرف آب بالاتری دارد. در این آزمایش جو پاییزه، گندم زمستانه، سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای، و چغندر قند به ترتیب ۱/۴، ۲/۱، ۲/۱، ۳/۰ و ۳/۵ کیلو گرم ماده خشک به ازای هر مترمکعب آب مصرفی تولید کردند. بوتروس و نیمال (۱۹۸۱)، در منطقه نیمه‌خشک لبنان، عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی و چغندر قند را با روش‌های آبیاری بارانی، نشتی، و قطره‌ای بررسی کردند. در این

آزمایش نشان داده اند که روش آبیاری، کارایی مصرف آب را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد ولی با افزایش مصرف کود نیتروژن‌دار کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. در آزمایشی که وند (۱۹۸۸) در نواحی خشک و نیمه‌خشک ترکیه روی چغندرقد انجام داد معلوم شد روش آبیاری بارانی، در مقایسه با روش آبیاری جویچه‌ای، عملکرد ریشه و میزان شکر را بالا می‌برد و وضعیت جوانه‌زنی را بهتر می‌کند. در تحقیق سال ۱۹۷۵ کایم‌اغلو و وانلی، چهار روش آبیاری بارانی، نواری، جویچه‌ای، و غرقابی روی چغندرقد مقایسه شدند. عملکرد ریشه در روش‌های فوق به ترتیب ۶۵/۴، ۵۲/۶، ۵۰/۱ و ۴۶/۵ تن در هکتار گزارش شد. میزان شکر در روش‌های مختلف تفاوت نداشت. میزان آب مصرفی در روش بارانی کمترین و بعد از آن روش جویچه‌ای (با اندکی تفاوت) قرار داشت. روش‌های نواری و غرقابی به مقداری قابل توجه آب بیشتری مصرف کردند. اکبری و مرتضوی‌بک (۱۳۸۰)، تأثیر روش‌های آبیاری سطحی و بارانی را روی عوامل کمی و کیفی ارقام تجارتي پیاز در منطقه اصفهان بررسی کردند. نتایج نشان داد که عملکرد محصول در روش آبیاری کرتی (۹۰ تن در هکتار) نسبت به روش آبیاری بارانی (۶۶ تن در هکتار) بیشتر است. نسبت عملکرد به آب مصرفی در روش آبیاری بارانی کمی بیشتر از روش آبیاری سطحی بود ولی این مقدار از نظر آماری معنی‌دار نبود و روش بارانی نتوانست با روش آبیاری سطحی مرسوم منطقه رقابت کند. کیردا و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیقات خود نشان دادند چنانچه در تمام فصل رشد چغندرقد، آبیاری به اندازه ۷۵ درصد نیاز آبی کامل

انجام شود، عملکرد قابل انتظار به میزان ۷۹ درصد عملکرد پتانسیل خواهد بود. چنانچه همین مقدار تنش (۲۵ درصد) در میانه فصل رشد داده شود (یعنی در زمان جوانه‌زنی و پایان فصل رشد تنشی اعمال نشود)، عملکرد قابل انتظار ۸۴ درصد عملکرد پتانسیل خواهد بود.

به منظور کاهش مصرف کود نیتروژن‌دار و مقدار آب آبیاری، آزمایشی در ایستگاه تحقیقاتی مالیر در ایالت اورگون امریکا انجام شد. تیمارهای کودی یکی کوددهی به مقدار نیاز و دیگری کوددهی به مقدار ۶۰ درصد میزان نیاز بود. تیمارهای آبیاری عبارت بود از آبیاری جویچه‌ای معمولی و آبیاری جویچه‌ای به صورت موجی. بر اساس نتایج، تیمار کوددهی به مقدار نیاز و روش آبیاری جویچه‌ای معمولی بیشترین عملکرد چغندرقد را به دست داد. در تیمارهایی که کود به مقدار نیاز داده شده بود، در هر دو روش آبیاری اختلافی معنی‌دار از نظر عملکرد شکر به وجود نیامد ولی در تیمارهای با کوددهی کمتر از حد نیاز، عملکرد شکر به طور معنی‌داری کاهش یافت [۱۰].

واکنش چغندرقد به تنش آبی، در آزمایشی در منطقه نیمه‌خشک بقا در لبنان بررسی شد. آزمایش بر اساس دو رژیم آبیاری، یکی تأمین ۱۰۰ درصد و دیگری تأمین ۶۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک انجام شد. نتایج نشان داد رشد چغندرقد در خاکهای آبیاری شده تا ۶۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک، بسیار کمتر بود از خاکهایی که تا ۱۰۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک، آبیاری شده بودند. در این آزمایش، عملکرد ریشه در رژیم ۱۰۰ درصد بیشتر و درصد قند در رژیم ۶۰ درصد بالاتر

بود. ضمناً مشخص شد که کارایی مصرف آب تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری قرار دارد و در تیمار ۶۰ درصد بالاتر از تیمار ۱۰۰ درصد است. ضمن اینکه کارایی مصرف آب در هر دو رژیم آبیاری وابسته به مقدار مصرف کود نیتروژن دار بوده است [۱۲].

هدف پژوهش

اهداف این تحقیق عبارت بوده است از:

- ۱- بررسی تأثیر روش‌های آبیاری جویچه‌ای و آبیاری بارانی روی عوامل کمی و کیفی چغندر قند.
- ۲- مقایسه میزان آب مصرف شده و کارایی مصرف آب در روش‌های آبیاری جویچه‌ای و بارانی.

۴- مواد و روش‌ها:

مواد

این تحقیق در سال ۱۳۸۰ در مزرعه تحقیقاتی کمال‌آباد مؤسسه تحقیقات چغندر قند واقع در کرج، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از:

- ۱- آبیاری بارانی در کرت‌هایی به ابعاد ۳۰×۷۲ متر.
- ۲- آبیاری جویچه‌ای معمولی در کرت‌هایی به ابعاد ۴×۸۲ متر.

۳- آبیاری جویچه‌ای با کاهش دبی جریان^۱ در کرت‌هایی به ابعاد ۴×۸۲ متر.

در تیمار آبیاری بارانی از لوله پلی اتیلن ۷۵ میلی متری استفاده شد. منبع آب، شیرفلکه مربوط به سیستم آبیاری بارانی موجود در ایستگاه بود. از آبپاش نوع نلسون F33 (با دبی ۰/۶ لیتر در ثانیه و

قطر پاشش ۳۰ متر در فشار کار ۳/۵ بار) با فاصله ۶ متر استفاده شد. رقم چغندر قند مورد استفاده IC1 (مولتی ژرم - تریپلوئید) توصیه شده برای منطقه بود. در دوره رشد، علاوه بر اعمال تیمارهای آبیاری، کوددهی در دو قسط (یک بار در مرحله ۶-۴ برگی گیاه و بار دیگر یک ماه بعد از نوبت اول هر یک به میزان ۹۰ و جمعاً ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص)، تنک و وجین بر اساس تراکم صد هزار بوته در هکتار، سم‌پاشی علیه آفات و بیماری‌ها در دو نوبت و سله‌شکنی برای تهویه مطلوب خاک انجام شد. در تیمار آبیاری بارانی از قوطی‌های آلومینیومی به قطر بالای ۱۰ سانتی متر استفاده شد و با چیدن آنها به صورت شبکه ۱×۱ متر، میزان پاشش واقعی آبپاش‌ها در شرایط مزرعه اندازه‌گیری شد. در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای برای اندازه‌گیری میزان آب ورودی به کرت از فلوم WSC تیپ ۴، برای اندازه‌گیری میزان آب خروجی از کرت از فلوم WSC تیپ ۳ و برای آبیاری شیارها از سیفون استفاده شد. فاصله شیارها از هم ۵۰ سانتی متر بود و در هر کرت ۸ شیار قرار داشت. شیب شیارها با دوربین تراز یاب ۰/۶ درصد تعیین شد.

روش‌ها

در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای و بارانی، بعد از آماده سازی زمین (شامل دیسک زدن و تسطیح)، کشت با ردیف‌کار با تراکم زیاد انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، با تهیه نمونه‌های خاک تا عمق ۹۰ سانتی متر از کرت‌های جویچه‌ای (S1 تا S3) و بارانی (B1 تا B3) به

شرح جدول شماره ۱ مشخص شد. رشد، ۱۱ نوبت آبیاری با دور مرسوم محل (بین ۱۰ تا ۱۴ روز) انجام شد. در جدول شماره ۲ ارتفاع آب آبیاری در این تیمارها نشان داده شده است. در تیمار آبیاری بارانی در دوره رشد، ۲۵ نوبت آبیاری به طور متوسط هفته ای یک بار انجام شد. دور آبیاری طوری انتخاب گردید که بیشتر از ۵۰ درصد آب قابل دسترس از عمق توسعه ریشه تخلیه نشود و با هر نوبت آبیاری کسر رطوبت خاک تأمین گردد. جدول شماره ۳ تاریخ، دور، مدت، و ارتفاع آب آبیاری در هر نوبت را نشان می دهد. شدت پاشش آب بر سطح خاک با روش چیدن قوطی در زیر آبپاش ها اندازه گیری شد. متوسط شدت پاشش در نوبت های آبیاری در دوره رشد در فاصله ۳ متر از طرفین لوله آبدۀ تقریباً ثابت و برابر ۱۲/۵ میلی متر در ساعت به دست آمد. سرعت نفوذ نهایی خاک ۳۸ میلی متر در ساعت با روش SCS برآورد گردید.

در تیمارهای آبیاری جویچه ای در دوره

۵- نتایج و بحث:

جدول شماره ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک کرت های جویچه ای و بارانی

نمونه	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک	EC (دسی زیمنس در متر)	آنیون ها و کاتیون های محلول (میلی اکی والان در لیتر)						
						HCO ₃ ⁻²	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	مجموع آنیونها	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Na ⁺	مجموع کاتیونها
S ₁	۴/۲	۴۵/۷	۵۰/۱	رس سیلتی	۰/۵۷	۳/۶	۱/۹۸	۱۶	۲۱/۵۸	۲۸	۲/۲۳	۳۰/۲۳
S ₂	۸/۳	۴۲/۶	۴۹/۱	رس سیلتی	۰/۶	۲/۰	۲/۳۹	۱۶	۲۰/۳۹	۱۶	۱/۴۵	۱۷/۴۵
S ₃	۱۳/۷	۴۳/۵	۴۲/۸	رس سیلتی	۰/۷۱	۲/۸	۳/۳	۱۲	۱۸/۱	۱۴	۲/۱۶	۱۶/۱۶
B ₁	۱۲/۵	۴۵/۳	۴۲/۲	رس سیلتی	۱/۱۸	۴/۰	۴/۷۱	۸	۱۶/۷۱	۲۰	۲/۲۷	۲۲/۲۷
B ₂	۱۳/۷	۴۴/۲	۴۲/۱	رس سیلتی	۰/۸۲	۲/۴	۳/۷۳	۱۲	۱۸/۱۳	۲۲	۲/۰۲	۲۴/۰۲
B ₃	۱۰/۹	۴۲/۵	۴۶/۶	رس سیلتی	۰/۷۵	۲/۸	۳/۷۳	۱۲	۱۷/۵۳	۱۴	۲/۰۸	۱۶/۰۸

جدول شماره ۲- ارتفاع آب ورودی و خروجی در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای (متوسط ۳ تکرار)

نوبت آبیاری	تاریخ آبیاری	دور آبیاری (روز)	مدت آبیاری (ساعت)		ارتفاع آب ورودی (میلی متر)		ارتفاع آب خروجی (میلی متر)	
			معمولی	با کاهش دبی جریان	معمولی	با کاهش دبی جریان	معمولی	با کاهش دبی جریان
*	—	—	—	—	۱۰۰	۱۰۰	—	—
۱	۸۰/۳/۲۸	—	۶/۷	۶/۷	۲۶۳	۳۰۳	۱۱	۱۷
۲	۸۰/۴/۶	۹	۳/۸	۳/۹	۱۳۷	۱۴۹	۱۰	۱۵
۳	۸۰/۴/۱۶	۱۰	۴/۴	۴/۴	۱۲۰	۱۳۳	۸	۱۴
۴	۸۰/۴/۲۵	۹	۴/۴	۴/۴	۱۱۸	۱۲۸	۱۷	۲۷
۵	۸۰/۵/۲	۸	۳	۳/۵	۱۰۳	۱۱۵	۱۴	۲۲
۶	۸۰/۵/۱۳	۱۱	۳/۶	۳/۷	۱۰۱	۱۱۶	۱۴	۲۶
۷	۸۰/۵/۲۲	۹	۳/۳	۳/۴	۱۰۰	۱۱۲	۱۱	۲۲
۸	۸۰/۶/۳	۱۲	۳/۵	۳/۶	۹۲	۱۱۰	۱۵	۱۵
۹	۸۰/۶/۱۷	۱۴	۳/۷	۳/۵	۹۰	۱۰۴	۱۶	۱۶
۱۰	۸۰/۶/۳۱	۱۴	۳/۰	۳/۲۵	۷۹	۸۹	۱۰	۱۳
۱۱	۸۰/۷/۱۷	۱۷	۳/۰	۳/۰	۶۹	۸۱	۷	۱۳
جمع	—	۱۱۳	۴۲/۴	۴۳/۴	۱۳۷۲	۱۵۴۰	۱۳۳	۲۰۰

* از زمان کشت تا اولین نوبت آبیاری جویچه‌ای، کرت‌ها با استفاده از دستگاه آبیاری چرخدار ایستگاه به اندازه ۱۰۰ میلی متر آبیاری شده‌اند.

جدول شماره ۳- ارتفاع آب آبیاری در تیمار روش بارانی

نوبت آبیاری	تاریخ	دور آبیاری (روز)	مدت آبیاری (ساعت)	ارتفاع آبیاری (میلی متر)
۱	۸۰/۲/۳۱	—	۸	۵۶*
۲	۸۰/۳/۸	۸	۶	۴۲*
۳	۸۰/۳/۱۳	۵	۶	۷۵
۴	۸۰/۳/۲۰	۷	۷	۸۷/۵
۵	۸۰/۳/۲۴	۴	۳	۳۷/۵
۶	۸۰/۳/۲۷	۳	۴	۵۰
۷	۸۰/۳/۳۱	۴	۲/۱۵	۲۷
۸	۸۰/۴/۷	۷	۷	۸۷/۵
۹	۸۰/۴/۱۲	۵	۳/۳	۴۱
۱۰	۸۰/۴/۲۱	۹	۳/۷۵	۴۷
۱۱	۸۰/۴/۲	۷	۴/۱۵	۵۲
۱۲	۸۰/۵/۲	۵	۴/۱۵	۵۲
۱۳	۸۰/۵/۹	۷	۴/۱۵	۵۲
۱۴	۸۰/۵/۱۶	۷	۴	۵۰
۱۵	۸۰/۵/۲۳	۷	۴	۵۰
۱۶	۸۰/۵/۳۱	۸	۴	۵۰
۱۷	۸۰/۶/۴	۴	۲/۷	۳۴
۱۸	۸۰/۶/۱۱	۷	۲/۴	۳۰
۱۹	۸۰/۶/۱۸	۷	۲/۱۵	۲۷
۲۰	۸۰/۶/۲۵	۷	۲	۲۵
۲۱	۸۰/۷/۱	۷	۱/۹	۲۴
۲۲	۸۰/۷/۸	۷	۱/۷	۲۱
۲۳	۸۰/۷/۲۲	۱۴	۱/۲۵	۱۶
۲۴	۸۰/۷/۲۹	۷	۱	۱۲/۵
۲۵	۸۰/۸/۱۴	۱۵	۰/۸	۱۰
جمع	—	۱۶۸	۸۹/۵۵	۱۰۵۵

* در نوبت‌های اول و دوم، آبیاری با دستگاه آبیاری چرخدار انجام شد که شدت پاشش آن ۷ میلی متر در ساعت برآورد شد.

تجزیه و تحلیل عوامل کمی و کیفی محصول

طرح آماری مورد استفاده برای مقایسه روش های آبیاری، بلوک کامل تصادفی با سه تکرار بود و هنگام برداشت ۷ نمونه به مساحت ۵ متر مربع از هر تیمار در هر تکرار تهیه شد. در روش آبیاری بارانی نمونه ها از ۳ متر طرفین لوله آبداه گرفته شد. در جدول های شماره ۴ و ۵، تجزیه واریانس و دسته بندی صفات کمی و کیفی محصول چغندر قند برای تیمارهای مختلف آبیاری نشان داده شده است.

نتایج جدول های شماره ۴ و ۵ نشان می دهد که

صفات عیار قند ناخالص، ناخالصی های ریشه (پتاسیم، سدیم و نیتروژن آلفا)، عیار قند خالص، ضریب استحصال، قند ملاس، وزن اندام هوایی، وزن ریشه، شکر ناخالص، و شکر خالص تحت تأثیر سه روش آبیاری، اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد ندارند. وزن ریشه چغندر قند در کل آزمایش در حدود متوسط عملکرد در سطح کشور (۳۰ تن در هکتار) به دست آمد. علت اصلی کم بودن عملکردها در این آزمایش، تأخیر حدود ۱۰ روزه در زمان کاشت بوده است.

جدول شماره ۴ - نتایج تجزیه واریانس صفات مهم کمی و کیفی چغندر قند

منابع تغییرات	درجه آزادی	عیار قند ناخالص		ناخالصی پتاسیم (K)		ناخالصی سدیم (Na)		ناخالصی ازت (N)		عیار قند خالص	
		MS	Prob	MS	Prob	MS	Prob	MS	Prob	MS	Prob
تکرار	۲	۰/۱۴۴	۰/۷۵۱	۰/۰۶۶	۰/۷۳۹	۰/۰۰۱	۰/۹۹۸	۰/۰۲۲	۰/۴۴۰	۰/۱۱۳	۰/۸۷۰
روش آبیاری	۲	۰/۴۱۸	۰/۴۷۷	۰/۰۵۲	۰/۷۸۶	۰/۷۸۶	۰/۴۹۹	۰/۰۳۳	۰/۳۲۴	۰/۱۷۵	۰/۸۰۹
خطا	۴	۰/۴۶۷		۰/۲۰۳		۰/۹۴۶		۰/۰۲۲		۰/۷۸۳	
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۲۴		۸/۰۸		۱۶/۳۲		۱۲/۲۷		۹/۵۴	

منابع تغییرات	درجه آزادی	ضریب استحصال		قند ملاس		وزن اندام هوایی		وزن ریشه		شکر ناخالص		شکر خالص	
		MS	Prob	MS	Prob	MS	Prob	MS	Prob	MS	Prob	MS	Prob
تکرار	۲	۰/۵۴۵	۰/۹۶۳	۰/۰۰۸	۰/۸۹۶	۱۱۳/۴۴	۰/۵۸۰	۲۱/۹۱	۰/۰۳۳	۱/۸۵۷	۰/۰۶۶	۰/۹۶۸	۰/۱۱۵
روش آبیاری	۲	۰/۱۹۸	۰/۹۸۶	۰/۰۵۵	۰/۵۲۶	۳۸/۷۸	۰/۸۱۶	۹/۳۸	۰/۴۶۶	۰/۰۸۰	۰/۷۹۰	۰/۰۶۵	۰/۷۸۱
خطا	۴	۱۴/۲۵		۰/۰۷۳		۱۸۱/۱۱		۱۰/۰۷		۰/۳۱۹		۰/۲۴۸	
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۳۶		۷/۱۴		۳۱/۲۲		۱۰/۹۴		۱۴/۸۶		۱۸/۴۱	

MS- میانگین مربعات

Prob- سطح معنی دار

جدول شماره ۵ - مقایسه میانگین صفات مهم کمی و کیفی چغندر قند در روش‌های مختلف آبیاری

شکر خالص	شکر ناخالص	وزن ریشه	وزن اندام هوایی	قند	ضریب	عیار قند	N*	Na*	K*	عیار قند	تکرار **
(تن در هکتار)	(تن در هکتار)	(تن در هکتار)	(تن در هکتار)	ملاس	استحصال	خالص				ناخالص	
				(درصد)	(درصد)	(درصد)				(درصد)	
۱/۹۸	۲/۷۷	۲۰/۹۹	۳۰/۱۷	۳/۶۸	۷۱/۶۳	۹/۸۰	۱/۵۰	۵/۳۸	۵/۷۹	۱۳/۴۸	۱
۲/۰۷	۲/۹۲	۲۲/۸۵	۴۶/۶۷	۳/۷۳	۷۰/۴۱	۹/۲۸	۱/۴۶	۵/۷۲	۵/۶۲	۱۳/۰۲	۲
۲/۸۶	۳/۹۹	۲۹/۲۷	۴۱/۰۰	۳/۷۵	۷۲/۱۸	۱۰/۰۳	۲/۴۶	۵/۰۶	۶/۰۴	۱۳/۷۸	۳
++ روش آبیاری											
۲/۸۸	۳/۹۹	۳۱/۰۳	۳۹/۰۰	۳/۶۲	۷۰/۱۷	۹/۰۰	۱/۱۶	۵/۳۷	۵/۷۲	۱۲/۶۲	بارانی
۲/۶۳	۳/۷۲	۲۸/۰۹	۴۴/۶۷	۳/۸۷	۷۰/۵۴	۹/۳۹	۱/۳۳	۶/۲۲	۵/۵۶	۱۳/۲۶	جویچه‌ای معمولی
۲/۶۱	۳/۶۹	۲۷/۸۶	۴۵/۶۷	۳/۸۴	۷۰/۶۶	۹/۴۳	۱/۱۳	۶/۲۸	۵/۴۶	۱۳/۲۸	جویچه‌ای با کاهش
دبی جریان											

* میلی اکی والان در صد گرم خمیر ریشه

** میانگین صفات در تکرارها مربوط به هر سه روش آبیاری است.

++ روش‌های آبیاری با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد در تمامی صفات با هم اختلافی معنی‌دار ندارند.

- میزان آب آبیاری و کارایی مصرف آب

امروزه شاخص میزان ماده خشک تولید شده به ازای مقدار آب مصرف شده، مهمترین عامل تأثیرگذار در برتری یک روش یا نظام آبیاری در نظر گرفته می شود. به همین دلیل مقادیر آب مصرفی، کارایی مصرف آب بر اساس وزن ریشه، کارایی مصرف آب بر اساس شکر ناخالص، و کارایی مصرف آب بر اساس شکر خالص در سه روش آبیاری در قالب طرح آماری مقایسه شد. کارایی مصرف آب، از تقسیم وزن ریشه یا شکر خالص، یا ناخالص بر میزان آب مصرفی در کرت (ورودی به کرت) محاسبه شده است. در جدول های شماره ۶ و ۷ نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین های این عوامل نشان داده شده است.

نتایج نشان می دهد که میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب بر اساس وزن ریشه و شکر ناخالص تحت اثر روش های آبیاری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار دارند و روش آبیاری بارانی بر دو روش دیگر برتری دارد.

جدول شماره ۶ - نتایج تجزیه واریانس برای کارایی مصرف آب و میزان آب مصرفی در سه روش آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میزان آب مصرف شده		کارایی مصرف آب بر اساس وزن ریشه		کارایی مصرف آب بر اساس شکر ناخالص		کارایی مصرف آب بر اساس شکر خالص	
		M.S	Prob	M.S	Prob	M.S	Prob	M.S	Prob
تکرار (بلوک)	۲	۶۵۵۰۷۵۸	۰/۱۶۶	۰/۱۹۸	۰/۲۸۵	۱۴۲۲۴	۰/۲۳۶	۷۳۰۴/۱۱	۰/۰۹۹
تیمار (روش آبیاری)	۲	۱۸۲۱۲۷۵۸	۰/۰۴۳	۰/۹۱۰	۰/۰۴۰	۴۸۳۷/۳۳	۰/۰۵۹	۲۵۲۴/۱۱	۰/۳۲۶
خطا	۴	۲۳۹۵۶۴۲	—	۰/۱۱۳	—	۲۲۸۰/۸۳	—	۱۶۷۸/۷۸	—
ضریب تغییرات (C.V.)		۱۱/۷۰		۱۴/۷۴		۱۶/۱۹		۱۹/۳۵	

جدول شماره ۷ - مقایسه میانگین های آب مصرفی و کارایی مصرف آب

روش آبیاری	میزان آب مصرف شده (متر مکعب در هکتار)	کارایی مصرف آب بر اساس وزن ریشه (کیلوگرم در متر مکعب)	کارایی مصرف آب بر اساس شکر ناخالص (گرم در متر مکعب)	کارایی مصرف آب بر اساس شکر خالص (گرم در متر مکعب)
بارانی	۱۰۵۵۰a*	۲/۹۱a	۳۷۲a	۲۶۸a
جویچه ای معمولی	۱۵۴۰۰b	۱/۸۸b	۲۴۰ab	۱۷۶a
جویچه ای با کاهش دبی جریان	۱۳۷۲۰a	۲/۰۶b	۲۷۲b	۱۹۲a

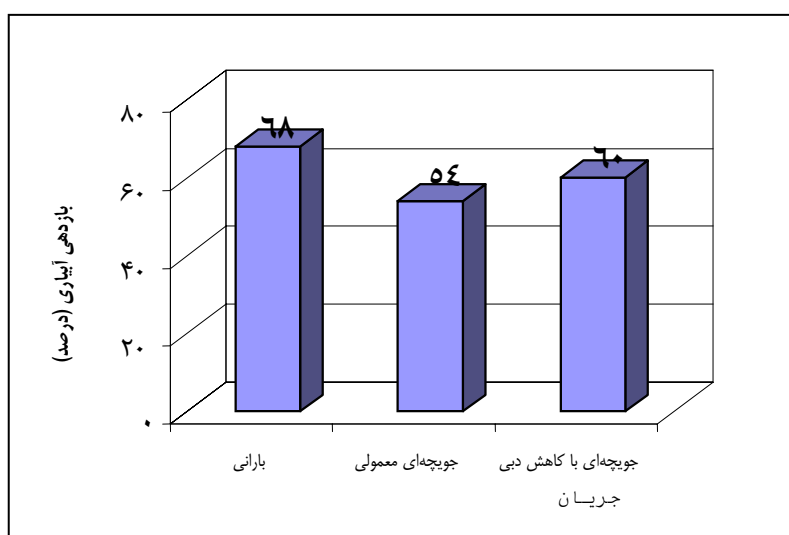
* حروف مشابه در سطح ۵ درصد آزمون دانکن با هم اختلاف معنی دار ندارند.

داده‌اند. آبیاری بارانی، نسبت به آبیاری جویچه‌ای معمولی، ۳۱ درصد کاهش در میزان آب مصرفی و ۵۵ درصد افزایش در کارایی مصرف آب بر اساس وزن ریشه را نشان می‌دهد (جدول شماره ۷).

در بین روش‌های آبیاری جویچه‌ای، طرحی ساده و قابل اجرا همچون کاهش دبی جریان موجب ۱۲ درصد صرفه جویی در مصرف آب، ۶ درصد افزایش بازده آبیاری، و ۱۰ درصد افزایش کارایی مصرف آب بر اساس وزن ریشه می‌شود.

نتایج این تحقیق با آزمایش مشابهی که صدرقاین و همکاران در سال زراعی ۱۳۷۹ در ایستگاه تحقیقاتی کمال آباد کرج انجام داده و در آن همین سه روش آبیاری را در قالب طرح آماری

مقادیر آب مصرف شده در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای و بارانی در جدول شماره ۷ و بازدهی هر یک از روش‌های آبیاری در شکل شماره ۱ مقایسه شده است. بازدهی آبیاری از تقسیم میزان آب مصرف شده در هر روش آبیاری بر نیاز خالص آبیاری چغندر قند در منطقه کرج (حدود ۸۰۰۰ مترمکعب در هکتار) محاسبه شده است. در بین تیمارهای آبیاری، روش آبیاری بارانی با بازدهی ۶۸ درصد و مصرف آب ۱۰۵۵۰ متر مکعب در هکتار نسبت به دو روش دیگر در مرتبه بالاتری قرار دارد. هرچند از نظر آماری مصرف آب این روش با روش آبیاری جویچه‌ای با کاهش دبی جریان در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست. همچنین، روش آبیاری بارانی بالاترین کارایی مصرف آب و جویچه‌ای معمولی پایین‌ترین کارایی مصرف آب را به خود اختصاص



شکل شماره ۱- بازدهی آبیاری در تیمارهای جویچه‌ای و بارانی

t-test با هم مقایسه کردند، مطابقت دارد [۴]. در روش جویچه ای معمولی برتری نشان داد.

۷- نتیجه گیری:

نتایج این تحقیق نشان می دهد که اگر در آبیاری جویچه ای از روش های مناسب و شناخته شده ای مانند کاهش دبی جریان بهره گیری شود، روش آبیاری جویچه ای قابل رقابت با آبیاری بارانی است. این مطلب وقتی اهمیت بیشتری پیدا می کند که توجه شود ایجاد سامانه آبیاری بارانی با عمر مفید ۱۵ تا ۲۰ سال در هر هکتار به حدود ۷ تا ۱۰ میلیون ریال سرمایه گذاری اولیه نیاز دارد. لذا توصیه می شود در اراضی کشاورزی که به دلایل اقتصادی یا فنی (باد خیز بودن یا سنگین بودن خاک)، محدودیت استفاده از روش آبیاری بارانی وجود دارد، با اعمال مدیریت مناسب در روش های آبیاری جویچه ای، نظیر کاهش دبی جریان، میزان بازدهی آبیاری و بهره وری آب افزایش داده شود.

آزمایش سال ۱۳۷۹، میزان آب مصرفی در سه روش بارانی، جویچه ای با کاهش دبی جریان، و جویچه ای معمولی به ترتیب ۹۷۵۰، ۱۲۹۶۰، و ۱۵۴۰۰ متر مکعب در هکتار اندازه گیری شد. در این تحقیق نیز عملکرد وزن ریشه در سه روش آبیاری اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد نداشتند اما آبیاری بارانی به لحاظ کارایی مصرف آب بر اساس وزن ریشه (در سطح یک درصد) و کارایی مصرف آب بر اساس شکر ناخالص (در سطح ۵ درصد) با اختلاف معنی دار نسبت به دو روش آبیاری جویچه ای برتری داشت. روش آبیاری جویچه ای با کاهش دبی جریان، نسبت به روش جویچه ای معمولی، موجب ۱۶ درصد صرفه جویی در مصرف شد و از نظر کارایی مصرف آب بر اساس وزن ریشه و شکر ناخالص با اختلاف معنی دار در سطح یک درصد، بر

۸- مراجع:

- ۱- اکبری، م. ۱۳۷۷. مقایسه روش های آبیاری بارانی و سطحی (شیاری) روی عوامل کمی و کیفی سیب زمینی. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. نشریه شماره ۱۲۱. کرج.
- ۲- اکبری، م. و مرتضوی بک، ا. ۱۳۸۰. مقایسه روش های آبیاری سطحی و بارانی روی عوامل کمی و کیفی ارقام تجارتي پیاز. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. نشریه شماره ۲۳۹. کرج.

۳-ریاحی، ح. ۱۳۷۸. بررسی راندمان آبیاری به ازای دو روش آبیاری بارانی و سطحی روی گندم. مؤسسه

تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. نشریه شماره ۱۴۴. کرج.

۴- صدقائین، ح. ، حقایقی، ا. و توحیدلو، ق. ۱۳۸۲. مقایسه فنی و بررسی کارایی مصرف آب و عملکرد

محصول در دو روش آبیاری بارانی و نشتی بر روی چغندر قند، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی

کشاورزی. نشریه شماره ۳۰۳. کرج.

۵- فرشی، ع. ا. ، شریعتی، م. ر. ، جاراللهی، ر. ، قائمی، م. ر. ، شهابی فر، م. و تولائی، م. ۱۳۷۶. برآورد آب

مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور، جلد اول. نشر آموزش کشاورزی. کرج.

6- Butrus, L. E. and Nimal, M. N. 1981. Potato and sugar beet yield and water use efficient irrigation system and water stress. Agronomy Abstacts. 73 Annual Meeting, American Society of Agronomy, pp. 209.

7- Kayimoglu, S. and Vanli, N. 1976. Determination of sugar beet yield, quality and economic utility of different irrigation methods. J. Seker. 14(10):10-29.

8- Schäfer, W. 1979. Results of intermittent sprinkler irrigation. Archiv für Acker und pflanzenbau und Bodenkunde. 23(2):121-128.

9- Schwarz, K. D. Terchardit, R. R. and Berger, W. 1978. Productivity and effectiveness of sprinkler irrigation in relation to crop, site and land use type. Archiv für Acker und pflanzenbau und Bodenkunde. 22(11): 721-728.

10- URL:WWW.Cropinfo.net/Annual Reports/1996/B 7 beet 96. Htm, Improved nitrogen and irrigation efficiency for sugar beet production, Oregon state university, Ontario.

11- URL:www.FAO.org /docrep/004/Y3655E/Y365504.htm, Crop yield response to deficit Irrigation.

12- URL: www.jhon-libbey-eurotext.fr/articles/sec/12/2/113-20/en-resum.htm, the

response of the sugar beet to planned water stress and nitrogen treatment in a semiarid area of the Bekka plain in Lebanon.

13- Vand, N. 1988. Effect of irrigation on sugar beet yield quality. J. Seker. 20(2): 47-52.

Water Use Efficiency and Yield of Sugar Beet under Sprinkler and Furrow Irrigation

A. Haghayeghi, Gh. Tohidloo and H. Sadreghaen

Providing the sugar beet water requirement using new irrigation methods such as sprinkler, drip and subsurface irrigation methods is very important because of high water requirement and long growth period of sugar beet. The aims of this study were to study the effects of irrigation methods on quantity and quality parameters of sugar beet and comparison of water consumption and water use efficiency. The experiments (C. R. B. D.) were conducted in 2001 at Kamal-abad research station in Karaj with 3 replications. The treatments were: 1) sprinkler irrigation at 30×72 plots, 2) furrow irrigation at 4×82 m plots and 3) furrow irrigation with cut-back at 4×82 m plots. Under sprinkler irrigation method, the sugar beet water requirement was estimated using Penman-Monith method. Furrow irrigation was irrigated based on traditional farming. In furrow irrigation with cut-back, the entrance discharge was decreased to 0.7-0.8 furrow irrigation after completing advance phase. The results showed that sugar content, root impurities (K, Na, α N), white sugar content, extractability, molasses sugar, shoot weight, root weight, sugar yield and white sugar yield parameters didn't have significant difference ($p < 0.05$) between the irrigation systems. Sprinkler irrigation had better preference over furrow irrigation because of 31% saving in water and 55% increase in water use efficiency on the basis of root weight. Use of cut-back in furrow irrigation caused no significant difference in root weight and its water use efficiency compared to sprinkler irrigation ($p < 0.05$).

Key words: Furrow Irrigation, Sprinkler Irrigation, Sugar Beet, Water Use Efficiency

تأثیر آبیاری جویچه‌ای با کاشت یک ردیفه و دو ردیفه بر بازده مصرف آب

و صفات کمی و کیفی چغندر قند در شرق استان اصفهان^۱

منوچهر ترابی و محمدرضا جهاد اکبر^۲

۱- چکیده:

کمبود آب یکی از مهمترین عوامل محدود کننده توسعه سطح زیر کشت چغندر قند در استان اصفهان است. ازسوی دیگر، با توجه به مصرف قابل توجه آب در دوره رشد رویشی این گیاه، استفاده کارآمدتر از منابع آبی موجود ضرورت بیشتری می‌یابد. یکی از راههای کاهش مصرف آب، مدیریت مناسب آبیاری در مزرعه است. به همین منظور، شش تیمار به مدت دو سال در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد واقع در شرق استان اصفهان به شرح زیر مطالعه شد: ۱- کاشت یک ردیفه، فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر، آبیاری از طریق تمام جویچه‌ها ۲- کاشت یک ردیفه، فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر، آبیاری جویچه‌ها یک در میان متناوب ۳- کاشت یک ردیفه، فاصله خطوط کاشت ۶۰ سانتی‌متر، آبیاری از تمام جویچه‌ها ۴- کاشت یک ردیفه، فاصله خطوط کاشت ۶۰ سانتی‌متر، آبیاری جویچه‌ها یک در میان متناوب ۵- کاشت دو ردیفه، فاصله خطوط کاشت در طرفین جویچه ۵۰ سانتی‌متر و فاصله خطوط کاشت روی پشته ۴۰ سانتی‌متر ۶- کاشت دو ردیفه، فاصله خطوط کاشت در طرفین جویچه ۶۰ سانتی‌متر و فاصله خطوط کاشت روی پشته ۴۰ سانتی‌متر. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار آب مصرفی به میزان ۲۲۶۹۳ و ۱۵۳۰۰ مترمکعب در هکتار به ترتیب مربوط به تیمارهای شماره ۲ و ۶ است. بیشترین عملکرد ریشه به میزان ۴۵/۸۵ تن در هکتار در تیمار شماره ۵ به دست آمد. در همین تیمار بیشترین عملکرد قند ناخالص و قند قابل استحصال به ترتیب به میزان ۶/۸۸ و ۴/۷۸ تن در هکتار مشاهده شد که ناشی از زیاده‌تر بودن عملکرد ریشه در تیمار مذکور بوده است. در مجموع، تیمارهای کشت دو ردیفه نسبت به یک ردیفه، به علت بیشتر بودن بازده مصرف آب برای عملکرد ریشه و قند در تیمارهای کشت دو ردیفه نسبت به یک ردیفه و همچنین سهولت بیشتر آبیاری در این تیمارها نسبت به تیمارهای یک ردیفه، این دو روش کاشت می‌تواند قابل توصیه باشد.

۲- واژه‌های کلیدی:

آبیاری جویچه‌ای یک در میان، بازده مصرف آب، چغندر قند، کاشت دو ردیفه، کاشت یک ردیفه

۱- برگرفته از طرح تحقیقاتی شماره ۱۲۷-۷۸-۲۰-۱۳-۱۰۰ مصوب سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی

۲- به ترتیب عضو هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان. اصفهان-

صندوق پستی ۱۹۹-۸۱۷۸۵، دورنگار: ۷۷۵۹۰۰۷-۰۳۱۱ و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.

۳- مقدمه:

کشت و توسعه چغندر قند به عنوان یکی از مهمترین منابع تولید کننده قند از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. عوامل متعددی بر کمیت و کیفیت عملکرد ریشه چغندر قند مؤثر هستند که از آن جمله می‌توان به رقم، آرایش کاشت، نوع آب و هوا و اقلیم، زمان مناسب کاشت، وضعیت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه به ویژه نوع کود، مقدار و زمان کوددهی و مدیریت و برنامه ریزی آبیاری اشاره نمود. استان اصفهان در منطقه خشک واقع شده است بنابراین، با توجه به محدودیت منابع آب، استفاده بهینه از این ماده حیاتی در کلیه بخش های مصرف کننده به ویژه بخش کشاورزی دارای اهمیت والایی می‌باشد.

تحقیقات بسیاری در ایران و سایر کشورهای جهان درباره استفاده از روش‌های مناسب آبیاری سطحی برای گیاهان زراعی با هدف صرفه جویی در مصرف آب انجام شده است. خواجه عبداللّهی و سپاسخواه (۱۳۷۵) روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان با دوره‌های مختلف آبیاری را روی ذرت مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق سه دور آبیاری ۷، ۱۱ و ۱۴ روزه و سه روش آبیاری شامل جویچه‌ای معمولی، جویچه‌ای یک در میان ثابت، و جویچه‌ای یک در میان متناوب با هم مقایسه شدند. نتیجه نشان داد که تیمار آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب با دور آبیاری ۴ روزه اقتصادی ترین روش از لحاظ مصرف آب و عملکرد دانه ذرت بوده است. سپاسخواه (۱۳۷۵) روش آبیاری جویچه‌ای را برای چغندر قند در مزرعه باجگاه دانشکده کشاورزی شیراز مورد آزمایش قرار داد.

وی نتیجه گرفت که آبیاری جویچه‌ای یک در میان چغندر قند در شرایط آب زیرزمینی بالا، باعث افزایش بازده آبیاری می‌گردد لیکن در بعضی شرایط، به خصوص پایین بودن آب زیرزمینی ممکن است که با وجود کاهش در مقدار آب آبیاری، مقدار عملکرد ریشه نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا کند. خرمیان (۱۳۸۱) تأثیر کم آبیاری به روش جویچه‌ای یک در میان ثابت و یک در میان متناوب را بر عملکرد ذرت دانه‌ای در شمال خوزستان بررسی نمود. نتیجه این پژوهش نشان داد که کم آبیاری ذرت به روش جویچه‌ای تا زمان شروع گلدهی منجر به کاهش معنی داری در عملکرد ذرت نخواهد شد ضمن آنکه با کم آبیاری به روش جویچه‌ای یک در میان متناوب می‌توان تا ۳۰ درصد نسبت به روش آبیاری جویچه‌ای کامل در مصرف آب صرفه جویی کرد.

لانگنکِـر و همکاران (Longenecker et al., 1969) امکان صرفه جویی در هزینه‌های تولید و مصرف آب به روش آبیاری جویچه‌ای را در زراعت پنبه بررسی کردند. نتایج نشان داد که مصرف آب در تیمار جویچه‌ای با پشته‌های پهن (دارای دو ردیف کاشت) معادل دو سوم مصرف آب در تیمار جویچه‌ای معمولی (پشته‌های باریک دارای یک ردیف کاشت) بوده است بدون آنکه میزان عملکرد محصول کاهشی معنی دار داشته باشد. علاوه بر این، مشخص گردید که در کاشت دو ردیفه پنبه روی پشته‌های پهن می‌توان با کاهش تبخیر از سطح خاک و گلدهی زودتر از موعد در مقایسه با کاشت یک ردیفه روی پشته‌های باریک، هزینه‌های تولید را تقلیل داد. موزیک و

و جویچه‌ای معمولی گزارش شده است. در تحقیق مذکور، تیمار آبیاری جویچه‌ای یک در میان تقریباً ۵۰ درصد کمتر از تیمار غرقابی آب مصرف کرده بود ضمن آنکه کاهش عملکرد هم ناچیز بوده است. گریترول و همکاران (Graterol et al., 1993) در یک تحقیق دو ساله در خاک لوم سیلنی واقع در ایالت نبراسکای امریکا تأثیر آبیاری جویچه‌ای معمولی و جویچه‌ای یک در میان را بر میزان عملکرد و آب مصرفی سویا بررسی نمودند. نتایج نشان داد که میزان عملکرد محصول در هر دو تیمار یکسان بوده لیکن مقدار آب داده شده به تیمار جویچه‌ای یک در میان ۴۶ درصد کمتر از تیمار جویچه‌ای معمولی بوده است. بازده کل آب مصرفی در تیمارهای جویچه‌ای معمولی و یک در میان به ترتیب ۵/۵۲ و ۶/۱۲ کیلو گرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب مصرفی بوده است.

هدف از اجرای این پژوهش، بررسی نحوه عملکرد و تأثیر آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان متناوب با کاشت یک ردیفه و دو ردیفه بر کارایی مصرف آب و سایر خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند در یک خاک سنگین رسی واقع در اراضی کشاورزی شرق استان اصفهان بوده است.

۴- مواد و روش‌ها:

این مطالعه از سال ۱۳۷۸ به مدت ۲ سال در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد واقع در شرق استان اصفهان به اجرا در آمد. قبل از کاشت، اقدام به تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک از قبیل بافت، درصد مواد آلی، چگالی ظاهری خاک و رطوبت ظرفیت مزرعه گردید (جدول شماره ۱). در

دوزک (Musick and Dusek, 1974) نشان دادند که استفاده از روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان در خاک‌های لوم رسی سیلنی با نفوذپذیری کند، تأثیر کمی روی جذب آب و نهایتاً عملکرد چغندر قند و سورگوم دانه‌ای دارد در حالیکه جذب آب و عملکرد گیاهان مذکور با این روش آبیاری در خاک‌های لوم رسی به خصوص در یک دوم تا یک چهارم قسمت انتهایی جویچه‌ها بسته به فاصله و طول جویچه‌ها از یکدیگر به صورت مشخصی کاهش می‌یابد. استون و همکاران (Stone et al., 1979) تأثیر صرفه جویی در آب مصرفی برای گیاهان پنبه، سورگوم دانه‌ای و سویا را با استفاده از پشته‌های پهن (دو ردیف کاشت در طرفین پشته) در ایالت اکلاهمای امریکا بررسی کردند. نتیجه این تحقیق حاکی از آن بود که به طور کلی در تیمار پشته‌های پهن، مقدار آب مصرفی تقریباً نصف آب مصرفی در تیمار جویچه‌های معمولی (پشته‌های باریک با یک ردیف کاشت) بوده است. اوجلا و همکاران (Aujla et al., 1991) در آزمایشی که به مدت سه سال در یک ایستگاه تحقیقات منطقه‌ای در ایالت پنجا ب هند انجام گرفته بود تأثیر چهار روش آبیاری سطحی را بر میزان مصرف آب و عملکرد گیاه پنبه مطالعه نمودند. تیمارهای آبیاری عبارت بودند از آبیاری غرقابی (تیمار شاهد)، آبیاری جویچه‌ای معمولی، جویچه‌ای یک در میان، و جویچه‌ای با پشته‌های پهن (دارای دو ردیف کاشت). در این آزمایش، بیشترین میزان صرفه جویی در مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب در تیمارهای جویچه‌ای یک در میان، جویچه‌ای با پشته‌های پهن،

جدول شماره ۱- برخی خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش

عمق خاک (سانتی متر)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت خاک	مواد آلی (درصد)	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	ظرفیت مزرعه (سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب)
۲۰-۰	۲۴	۴۳	۳۳	لومی رسی	۱/۰۶	۱/۲۱۷	۰/۲۳
۴۰-۲۰	۱۲	۴۵	۴۳	رسی سیلتی	۰/۷۸	۱/۴۱۱	۰/۲۸
۶۰-۴۰	۱۰	۴۷	۴۳	رسی سیلتی	۰/۶۷	۱/۴۷۴	۰/۳۲

که بین آن ها جویچه قرار می گرفت، ۶۰ سانتی متر بود.

در تمامی کرت ها، فاصله بوته روی ردیف کاشت حدود ۱۵-۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایشی شامل ۸ ردیف کشت به طول تقریبی ۱۲۰ متر بود. بذر مورد استفاده از نوع چند جوانه ای^۱ IC (رقم معمول در منطقه) بود. در هر دو سال آزمایش، عملیات کاشت در تاریخ ۲۷ اردیبهشت انجام شد. به منظور یکنواخت شدن جوانه زنی بذور در مرحله اول رشد که تقریباً ۳۰ روز به طول انجامید، کلیه جویچه ها آبیاری شدند و پس از آن، روش های آبیاری اعمال گردیدند. دور آبیاری بر اساس عرف منطقه (هر ۱۰ الی ۱۲ روز یک بار) و مقدار آب آبیاری براساس نیاز آبی گیاه و با استفاده از تشت تبخیر و ضریب گیاهی مربوطه به شرح زیر تعیین و اعمال شد. ضریب تشت تبخیر (K_p) با توجه به خصوصیات مکانی و اقلیمی محل استقرار آن، معادل ۰/۵۵ تعیین شد و ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد چغندر قند بر اساس روش ارائه شده توسط دورنباوس و پروت (Doorenbos and Pruitt, 1977) محاسبه و منحنی آن برای تخمین آب مورد نیاز چغندر قند

این تحقیق، تأثیر شش روش آبیاری جویچه ای با کاشت یک ردیفه و دو ردیفه بر صفات کمی و کیفی محصول چغندر قند مورد مقایسه قرار گرفتند. تیمارهای مورد نظر عبارت بودند از:

۱- کاشت یک ردیفه، فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی متر، آبیاری از طریق تمام جویچه ها.

۲- کاشت یک ردیفه، فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی متر، آبیاری جویچه ها به صورت یک در میان متناوب. به این نحو که در هر آبیاری، یکی از دو جویچه مجاور به صورت متناوب آبیاری می شد.

۳- کاشت یک ردیفه، فاصله خطوط کاشت ۶۰ سانتی متر، آبیاری از طریق تمام جویچه ها.

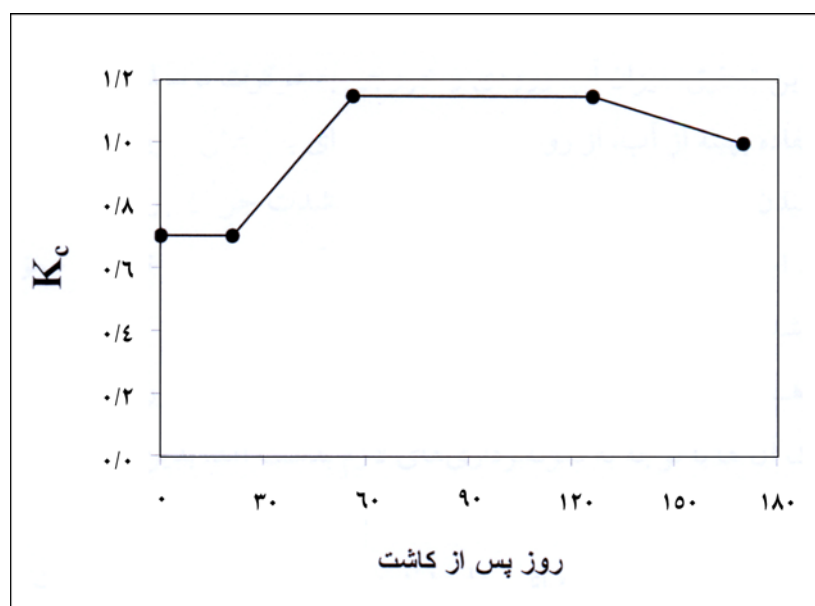
۴- کاشت یک ردیفه، فاصله خطوط کاشت ۶۰ سانتی متر، آبیاری جویچه ها به صورت یک در میان متناوب.

۵- کاشت دو ردیفه، فاصله خطوط کشت روی پشته ۴۰ سانتی متر، ولی فاصله خطوط کشت که بین آن ها جویچه قرار می گرفت، ۵۰ سانتی متر بود.

۶- کاشت دو ردیفه، فاصله خطوط کشت روی پشته ها ۴۰ سانتی متر، ولی فاصله خطوط کشت

می‌شدند، عدد حاصل در تمام تعداد جویچه‌های هر کرت ضرب می‌شد تا حجم ورودی به هر کرت تعیین گردد. در مورد تیمارهای شماره ۲ و ۴ که جویچه‌ها به صورت یک در میان آبیاری می‌شدند، عدد مذکور فقط در تعداد جویچه‌هایی که در هر آبیاری بایستی در آنها آب جریان می‌یافت، ضرب می‌شد. برای تخمین مدت زمان آبیاری در هر تیمار، حجم خالص آب مورد نیاز در واحد طول جویچه در معادله نفوذ لوئیس - کوستیاکف که ضرایب آن از طریق معادله موازنه حجمی و به روش دو نقطه خطا مقدار t_{req} یعنی فرصت نفوذ در انتهای جویچه تخمین زده شد. زمان پشروی (t_r) حدود ۱۵ دقیقه فرض شد و زمان پیشروی (t_a) در هر آبیاری از طریق مشاهده، اندازه‌گیری و زمان قطع آبیاری (t_{co}) از رابطه $t_{co} = t_{req} + t_a - t_r$ محاسبه گردید.

ترسیم گردید (شکل شماره ۱). بدین ترتیب در هر آبیاری، برای هر یک از جویچه‌ها عمق تجمعی آب تبخیر شده از تشت تبخیر در ضریب K_p ضرب می‌شد تا تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (چمن) به دست آید. آن گاه این عدد با توجه به مرحله رشد چغندر قند و با استفاده از شکل شماره ۱، در ضریب K_c مربوطه ضرب می‌شد تا تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه چغندر قند در فاصله بین دو آبیاری محاسبه شود. عدد به دست آمده در فاصله بین دو جویچه ضرب می‌شد تا حجم خالص آب مورد نیاز در واحد طول جویچه به دست آید. راندمان کاربرد آبیاری جویچه‌ای ۷۰ درصد فرض شد. حجم خالص آب مورد نیاز در واحد طول جویچه به عدد ۰/۷۰ تقسیم شد تا حجم ناخالص آب مورد نیاز در واحد طول جویچه به دست آید. در مورد تیمارهای شماره ۱، ۳، ۵، و ۶ که تمام جویچه‌ها آبیاری



شکل شماره ۱- نمودار تغییرات ضریب گیاهی چغندر قند در منطقه کبوترآباد اصفهان

عملکرد قند ناخالص و قند قابل استحصال، و کارایی مصرف آب برای تولید قند قابل استحصال می‌باشد. جدول شماره ۳ حاوی میانگین مقادیر صفات مربوط به کیفیت چغندر قند از قبیل درصد قند ناخالص، غلظت سدیم، پتاسیم، و ازت مضر در شربت خام، و درصد قند قابل استحصال می‌باشد.

الف- صفات کمی

با توجه به جدول شماره ۲، مقادیر کل آب مصرفی در تیمارهای ۱ الی ۶ به ترتیب ۱۹۲۶۲، ۲۲۶۹۳، ۱۵۳۸۱، ۱۶۶۵۶، ۱۵۳۰۰، و ۱۴۱۵۰ متر مکعب در هکتار مشاهده شده است. این نتایج حاکی از آن است که مقدار آب مصرفی در تیمار ۶ تقریباً ۳۸ درصد کمتر از میانگین آب مصرفی در تیمار ۱ بوده است که از این حیث، با نتیجه تحقیقات لانگنکر و همکاران (Longenecker *et al.*, 1969) و استون و همکاران (Stone *et al.*, 1979) که در مورد پنبه صورت گرفته‌اند، هماهنگی دارد. علت مصرف زیاد آب در تیمارهای ۱ و ۲ در مقایسه با سایر تیمارها، باریک بودن عرض پشته‌ها و شکسته شدن آنها طی آبیاری‌های متوالی می‌باشد. البته، شکسته شدن پشته‌ها در تیمارهای ۳ و ۴ نیز دیده شد لیکن شدت آن کمتر از تیمارهای ۱ و ۲ بود، در حالی که این مسئله در تیمارهای ۵ و ۶ (پشته‌های پهن با دو ردیف کاشت) مشاهده نگردید. این پدیده را می‌توان بدین صورت توضیح داد که با توجه به جدول شماره ۱، چون خاک منطقه آزمایش عمدتاً از نوع رسی سیلتی می‌باشد وجود درصد زیادی از ذرات رس در بافت خاک باعث شده است در حین آبیاری، آب بین سطوح ذرات جذب شده و خاک منبسط گردد.

در این تحقیق، میزان آب ورودی و خروجی به هرکرت به وسیله فلوم (WSC) اندازه‌گیری و به منظور استفاده بهینه از آب، از روش آبیاری جویچه‌ای با کاهش جریان استفاده شد. بدین ترتیب که پس از رسیدن جبهه پیشروی به انتهای کرت، شدت جریان ورودی به ۵۰ درصد مقدار اولیه کاهش می‌یافت. اولین آبیاری (خاک آب) براساس اندازه‌گیری رطوبت خاک تا عمق حدود ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. رشد چغندر قند ۱۷۰ روز به طول انجامید.

در هنگام برداشت، اندام هوایی و ریشه‌های هر کرت به صورت جداگانه توزین شد و سپس ماده خشک آنها با توجه به نمونه‌برداری‌های لازم به دست آمد. بدین ترتیب محاسبه کارایی مصرف آب امکان‌پذیر شد. نحوه نمونه‌گیری به این صورت بود که در هر کرت، دو ردیف سمت چپ و راست به منظور حذف اثر حاشیه‌ای رها شدند و چهار ردیف میانی به قطعات ۱۰ متری تقسیم شده و از این قطعات به صورت یک در میان نمونه برداری شد. در نتیجه، از هر خط کاشت ۵ نمونه، از هر کرت $20 \times 4 = 80$ نمونه، و از تمامی مزرعه $120 = 6 \times 20$ نمونه تهیه شد. از هر نمونه به صورت جداگانه نیز پلپ‌گیری شد تا صفات کیفی آنها مشخص شود.

۵- نتایج و بحث:

میانگین نتایج به دست آمده طی سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ در جدول‌های شماره ۲ و ۳ درج شده‌اند. جدول شماره ۲ نشان دهنده مقادیر کل آب مصرفی، رواناب، و صفات کمی ریشه چغندر قند شامل عملکرد ریشه، کارایی مصرف آب برای تولید ریشه،

جدول شماره ۲- میانگین آب مصرفی، رواناب و صفات کمی چغندر قند در تیمارهای آزمایش طی سالهای ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹

شماره تیمار	آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	رواناب (مترمکعب در هکتار)	عملکرد ریشه (تن در هکتار)	کارایی مصرف آب برای تولید ریشه (کیلوگرم در متر مکعب)	عملکرد قند قابل استحصال (تن در هکتار)	کارایی مصرف آب برای تولید قند قابل استحصال (کیلوگرم در متر مکعب)	عملکرد قند ناخالص (تن در هکتار)
۱	۱۹۲۶۲	۵۵۸	۳۹/۳۰	۲/۰۴	۴/۰۰	۰/۲۱	۵/۶۴
۲	۲۲۶۹۳ ۲۲۲۷۳	۸۰۲	۳۶/۸۸	۱/۶۲	۳/۶۰	۰/۱۶	۵/۱۳
۳	۱۵۳۸۱	۸۳۸	۴۲/۰۰	۲/۷۴	۴/۴۰	۰/۲۹	۶/۱۹
۴	۱۶۶۵۶	۹۳۷	۴۱/۳۰	۲/۴۸	۳/۹۸	۰/۲۴	۵/۹۰
۵	۱۵۳۰۰	۱۷۶۵	۴۵/۸۵	۳/۰۰	۴/۷۸	۰/۳۱	۶/۸۸
۶	۱۴۱۵۰	۲۱۱۳	۴۳/۹۹	۳/۱۱	۴/۲۷	۰/۳۰	۶/۷۸

جدول شماره ۳- میانگین صفات کیفی چغندر قند در تیمارهای آزمایش طی سالهای ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹

شماره تیمار	قند ناخالص (درصد)	سدیم در ۱۰۰ گرم شربت (میلی اکی والان در لیتر)	پتاسیم در ۱۰۰ گرم شربت (میلی اکی والان در لیتر)	ازت مضر در ۱۰۰ گرم شربت (میلی اکی والان در لیتر)	درصد قند قابل استحصال (درصد)
۱	۱۴/۳۶	۵/۵۴	۷/۳۶	۲/۰۶	۱۰/۲۱
۲	۱۳/۹۶	۵/۱۸	۶/۸۰	۲/۳۵	۹/۸۵
۳	۱۴/۷۴	۴/۰۰	۷/۳۰	۲/۷۸	۱۰/۴۵
۴	۱۴/۲۸	۵/۴۲	۷/۰۰	۲/۶۲	۹/۶۱
۵	۱۵/۰۲	۴/۶۶	۷/۳۸	۲/۸۶	۱۰/۴۱
۶	۱۵/۴۰	۴/۷۶	۷/۳۴	۳/۴۴	۱۰/۲۲

با تبخیر رطوبت از سطح خاک، ذرات رس شدیداً منقبض شده و این امر باعث بروز ترک‌هایی در سطح خاک می‌شود. هر چه عرض پشته‌ها کمتر باشد احتمال به هم پیوستن ترک‌هایی که در طرفین پشته‌ها ایجاد شده‌اند و به دنبال آن تشکیل مجاری باریک، بیشتر می‌شود. در آبیاری‌های بعدی، جریان آب به درون این ترک‌ها و مجاری باریک نفوذ کرده و ذرات سیلت (که مقدار این ذرات در خاک منطقه حدود ۴۵ درصد می‌باشد) توسط نیروی برشی آب شسته می‌شوند. با توجه به ناچیز بودن

مقدار مواد آلی خاک (جدول شماره ۱)، عمل شسته شدن ذرات سیلت و در پی آن شکسته شدن پشته‌های باریک با سهولت و سرعت بیشتری انجام می‌گیرد. بدیهی است که در تیمارهای ۵ و ۶ نیز ترک‌هایی در طرفین پشته‌ها ایجاد خواهد شد ولی به دلیل عریض بودن پشته‌ها امکان به هم پیوستن ترک‌ها و تشکیل مجاری باریک وجود ندارد. از طرف دیگر، شکسته شدن پشته‌ها در تیمارهایی که جویچه‌ها به صورت یک در میان آبیاری می‌شدند، باعث بروز اختلال در مدیریت آبیاری می‌گردید. بدین نحو که جریان یافتن آب در جویچه‌هایی که نایستی آبیاری می‌شدند باعث کندی پیشروی جبهه جریان آب و به تبع آن افزایش زمان آبیاری و در نتیجه افزایش آب مصرفی می‌گردید. همچنین، این مسئله موجب کاهش یکنواختی توزیع رطوبت در طول پشته‌ها از طریق افزایش فرونشست در قسمت‌های ابتدایی جویچه‌ها می‌شد.

بیشترین مقدار رواناب حاصل از آبیاری تیمارهای آزمایشی به میزان ۲۱۱۳ مترمکعب در هکتار در تیمار ۶ و کمترین مقدار آن در تیمار ۱ معادل ۵۵۸ مترمکعب در هکتار اندازه‌گیری شد. در این مورد نیز پهنای بیشتر پشته‌ها در تیمارهای دو ردیفه در مقایسه با تیمارهای یک ردیفه، باعث پایداری بیشتر آنها در مقابل نیروهای برشی شده است و شکل هندسی خود را به نحو مطلوبتری حفظ کرده‌اند. در نتیجه، جبهه پیشروی آب در تیمارهای دو ردیفه سریعتر به انتهای کرت رسیده و رواناب بیشتری ایجاد کرده‌اند.

بیشترین عملکرد ریشه به میزان ۴۵/۸۵ تن در هکتار در تیمار ۶ و کمترین مقدار در تیمار ۲ معادل ۳۶/۸۸ تن در هکتار بوده است. دورنباس و قسام (Doorenbos and Kassam, 1979) متوسط عملکرد ریشه چغندر قند در سطح جهان را حدود ۳۱ تن در هکتار ذکر نموده‌اند. عملکرد ریشه چغندر قند یکی از شاخصه‌های مورد استفاده در محاسبه بهای چغندر قند از سوی کارخانه‌های قند می‌باشد و بدین لحاظ دارای اهمیت زیادی برای زارعین می‌باشد. عامل دیگری که نقش اساسی در محاسبه بهای چغندر قند خریداری شده توسط کارخانه‌های قند دارد، میزان قند ناخالص می‌باشد. در این مورد نیز بیشترین مقدار عملکرد قند ناخالص در تیمار ۵ به میزان ۶/۸۸ تن در هکتار و کمترین مقدار در تیمار ۲ معادل ۵/۱۳ تن در هکتار بوده است.

بیشترین کارایی مصرف آب برای تولید ریشه در تیمار ۶ به میزان ۳/۱۱ کیلوگرم در متر مکعب کمترین مقدار در تیمار ۲ معادل ۱/۶۲ کیلوگرم در متر مکعب محاسبه شده است. همان گونه که قبلاً نیز اشاره شد در تیمارهای دو ردیفه، جبهه پیشروی جریان آب در حین حرکت با مقاومت کمتری روبرو بوده و سریعتر به انتهای جویچه رسیده است. این امر باعث شده است که در این تیمارها رطوبت با یکنواختی بیشتری توزیع گردد که حاصل آن افزایش عملکرد گیاه می‌باشد. دورنباس و قسام (۱۹۷۹) میانگین کارایی مصرف آب برای عملکرد ریشه چغندر قند را بین ۶ تا ۹ کیلوگرم در مترمکعب ذکر نموده‌اند. لازم به ذکر است که امروزه در اکثر کشورهای توسعه یافته به جای عملکرد قند ناخالص، عملکرد قند قابل استحصال (قند سفید) را ملاک محاسبه بهای چغندر قند قرار می‌دهند و انتظار

می رود که در آینده این پارامتر جایگزین عملکرد قند ناخالص در محاسبه بهای چغندر قند گردد. در این تحقیق، بیشترین مقدار عملکرد قند قابل استحصال (۴/۷۸ تن در هکتار) در تیمار ۵ و کمترین مقدار (۳/۶۰ تن در هکتار) در تیمار ۲ مشاهده گردید.

میانگین کارایی مصرف آب برای تولید قند قابل استحصال در تیمارهای ۱ الی ۶ به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۱۶، ۰/۲۹، ۰/۲۴، ۰/۳۱ و ۰/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شده است. به خاطر مصرف زیاد آب در تیمارهای ۱ و ۲ در مقایسه با سایر تیمارها، کارایی مصرف آب برای تولید قند قابل استحصال در این تیمارها کمتر از بقیه بود. در حالیکه بیشترین کارایی مصرف آب برای تولید قند قابل استحصال در تیمارهای ۵ و ۶ به دست آمده است. دورنباس و قسام (۱۹۷۹) بازده مصرف آب برای عملکرد قند قابل استحصال را به طور متوسط بین ۰/۹ تا ۱/۴ کیلوگرم در متر مکعب گزارش کرده اند.

ب- صفات کیفی

با توجه به جدول شماره ۳، میزان قند ناخالص

در تیمارهای ۱ الی ۶ به ترتیب ۱۴/۳۶، ۱۳/۹۶،

۱۴/۷۴، ۱۴/۲۸، ۱۵/۰۲ و ۱۵/۴۰ درصد اندازه گیری

شده است. بدین ترتیب، کمترین درصد قند

ناخالص در تیمار ۲ و بیشترین مقدار در تیمار ۶

اندازه گیری شده است. مشابه چنین نتیجه ای در

مورد اکثر عوامل کمی مندرج در جدول شماره ۲ نیز

دیده می شود. با این حال، در مورد ناخالصی های

اندازه گیری شده در شربت خام (سدیم، پتاسیم، و

ازت مضر) روند کاملاً متفاوتی دیده می شود. در

مورد سدیم که یکی از مهمترین اجزاء ناخالصی های

شربت خام را تشکیل می دهد، کمترین غلظت در تیمار ۳ به میزان ۴ میلی اکی والان در لیتر و بیشترین غلظت در تیمار ۱ معادل ۵/۵۴ میلی اکی والان در لیتر اندازه گیری شده است در حالیکه کمترین غلظت پتاسیم در تیمار ۲ به میزان ۶/۸۰ میلی اکی والان در لیتر و کمترین غلظت در تیمار ۵ معادل ۷/۳۸ میلی اکی والان در لیتر مشاهده شده است. در مورد ازت مضر وضعیت به گونه دیگری بوده است. کمترین غلظت ازت مضر در تیمار ۱ (۲/۵۶ میلی اکی والان در لیتر) و بیشترین غلظت در تیمار ۶ (۳/۴۴ میلی اکی والان در لیتر) گزارش شده است.

میزان قند قابل استحصال در تیمارهای ۱ الی ۶ به ترتیب ۱۰/۲۱، ۹/۸۵، ۱۰/۴۵، ۹/۶۱، ۱۰/۴۱ و ۱۰/۲۲ درصد محاسبه شده است. بدین ترتیب، کمترین درصد قند قابل استحصال در تیمار شماره ۴ و پس از آن در تیمار شماره ۲ مشاهده شده است. بیشترین درصد قند قابل استحصال در درجه اول در تیمار شماره ۳ و پس از آن در تیمار شماره ۵ اندازه گیری شده است.

۶- نتیجه گیری:

- نتایج این تحقیق نشان داد که در خاک هایی که حاوی مقادیر زیادی از ذرات رس و سیلت هستند و از طرفی، دچار فقر مواد آلی نیز می باشند، کاشت یک ردیفه چغندر قند روی پشته های باریک ۵۰ یا ۶۰ سانتی متری به علت آسیب پذیری شدیدی که در مقابل شکستگی دارند و نیز مشکلاتی که در اجرای آبیاری یک در میان ایجاد می کنند، انتخاب مناسبی نخواهد

- بود. برتری دارد و از این نظر قابل توصیه
- بر اساس نتایج حاصل از دو سال آزمایش، می‌باشد.
- کاشت دو ردیفه (روی پشته‌های پهن) به علت - با احداث سامانه برگشت آب یا در صورت بیشتر بودن کارایی مصرف آب برای عملکرد امکان، احداث کرت‌هایی در پایین ریشه و قند و نیز سهولت کنترل و مدیریت دست، می‌توان از رواناب حاصله مجدداً استفاده عملیات آبیاری نسبت به کشت یک ردیفه، نمود و بازده آب مصرفی را افزایش داد.

۷- مراجع:

- ۱- خرمیان، م. ۱۳۸۱، بررسی اثر کم آبیاری به روش جویچه ای یک در میان بر عملکرد ذرت دانه ای در شمال خوزستان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی شماره ۱۱، ۹۱-۱۰۱.
- ۲- خواجه عبدالله، م. ح. و ع. ر. سپاسخواه، ۱۳۷۵. بررسی اقتصادی آبیاری جویچه ای یک در میان با دوره های مختلف برای ذرت. خلاصه مقالات نخستین گرد همایی علمی، کاربردی اقتصاد آب. تهران. معاونت امور آب وزارت نیرو. ۶ و ۷.
- ۳- سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۷۵. کم آبیاری به روش جویچه ای یک در میان. مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۹۱ - ۳۰۵.
- 4- Aujla, M. S., Singh, C. J. Vashist, K. K. and Sandhu, B. S. 1991. Evaluation of methods for irrigation of cotton (*Gossypium hirsutum*) in a canal-irrigated area of South West Punjab, India, Arid soil research and rehabilitation. 5 (3): 225-234.
- 5- Doorenbos, J., and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage paper No. 33. Rome. Italy, pp. 141-144.
- 6- Doorenbos, J., and Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper No. 24. Rome. Italy. 144p.
- 7- Graterol, Y. E., Eisenhauer, D. E. and Elmore, R. W. 1993. Alternate-furrow irrigation for soybean production. Agricultural Water Management. 24 (2): 133-145.
- 8- Longenecker, D. E., Thaxton, E. L. and Lyerly, P. J. 1969. Variable row spacing of irrigated cotton as a means for reducing production costs and conserving water. Agronomy Journal. 61 (1): 101-104.

- 9- Musick, J. T., and Dusek, D. A. 1974. Alternate-furrow irrigation of fine textured soils. Trans. of the ASAE. 17 (2): 289-294.
- 10- Stone, J. F., Garton, J. E. Webb, B. B. Reeves, H. E. and Keflemariam, J. 1979. Irrigation water conservation using wide-spaced furrows. Soil. Sci. Soc. Am. J. 43 (2): 407-411.

The Effect of Furrow Irrigation, Single Row and Double Row Planting on Water Use Efficiency, Quantity, and Quality of Sugar Beet Yield

M. Torabi and M. R. Jahad Akbar

A study was conducted to investigate the effect of planting layout on sugar beet water use efficiency in a silty loam soil in Kabootar Abad research station in Esfahan, during 1999 to 2000. The treatments were as follow:

- 1- Single rows 50 cm apart; all furrows irrigated.
- 2- Single rows 50 cm apart; alternate furrows irrigated.
- 3- Single rows 60 cm apart; all furrows irrigated.
- 4- Single rows 60 cm apart; alternate furrows irrigated.
- 5- Variable spacing rows; 40 cm apart on each broad planting bed and 50 cm apart on each side of the furrow.
- 6- Variable spacing rows; 40 cm apart on each broad planting bed and 60 cm apart on each side of the furrow.

The results indicated that the most and the least amount of water consumption were noticed in treatments 2 ($22693 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) and 6 ($15300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), respectively. Narrower width of ridges in the single row treatments compared to the double row ones, along with considerable clay and silt contents of soil resulted in the collaps of ridges by the shear force of water flow during each irrigation practice. These effects were augmented by lack of sufficient soil organic matter content. Collaps of ridges not only impeded the rate of water advance, but also increased runoff and deep percolation and caused poor water distribution uniformity along the furrows. During those years, the highest root yield was obtained in treatment 5 for 45.85 t/ha . Also, the highest sugar yield was noticed in treatment 5 for 6.88 t ha^{-1} which was related to the high root yield in this treatment. Finally, variable row spacing treatments are recommended for their higher water use efficiencies in both root and sugar yield along with ease of irrigation management in these treatments.

Key words: Alternate Furrow Irrigation, Double Row, Single Row, Sugar Beet, Water Use Efficiency.

اثر تنش‌های آبی در مراحل مختلف رشد بر کمیت و کیفیت

دو رقم گوجه فرنگی (کال جی و موبیل)^۱

سید حسن موسوی فضل و علیرضا محمدی^۲

۱- چکیده:

به منظور بررسی تأثیر تنش‌های آبی در مراحل مختلف رشد گوجه فرنگی بر خصوصیات کمی و کیفی محصول گوجه فرنگی آزمایشی در قالب طرح اسپلیت اسپلیت پلات با سه فاکتور در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی سمنان (شاهرود) از سال ۱۳۷۹ به مدت دو سال زراعی اجرا شد. ارقام گوجه فرنگی (موبیل و کال جی) به صورت دو نوار در هر بلوک قرار گرفتند. تیمار اصلی شامل سه سطح مختلف آب آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز گیاه) و تیمار فرعی شامل مراحل رشد گیاه در چهار سطح (نشا تا گل دهی، گل دهی تا میوه دهی، تشکیل میوه‌ها تا اولین برداشت، و پس از برداشت اول تا انتهای فصل) بود. آب مورد نیاز گیاه بر اساس داده‌های تشتک تبخیر کلاس A و سطوح آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد محاسبه شد و با روش آبیاری شیاری (فارو) در اختیار گیاه قرار گرفت. نتایج نشان داد که ارقام گوجه فرنگی از نظر عملکرد با هم تفاوتی ندارند. اثر متقابل مقدار آب و مرحله رشد گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار شد، به طوری که تنش ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی) و شدید (۵۰ درصد نیاز آبی) در مرحله گل دهی تا میوه‌دهی عملکرد محصول را به میزان ۱۳ تن در هکتار کاهش می‌دهد. تنش آبی در سایر مراحل رشد تأثیری معنی‌دار بر عملکرد محصول نداشت. تیمارهای آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب با میانگین عملکرد ۵۸/۳، ۵۷ و ۶۲ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. بنابراین به غیر از مرحله گل‌دهی تا میوه‌دهی می‌توان میزان آب مصرفی را تا ۵۰ درصد، بدون کاهش قابل توجه در عملکرد، تقلیل داد. ارقام از نظر پارامترهای pH و مواد جامد انحلال پذیر (بریکس) تفاوت نداشتند اما رقم کال - جی (با نسبت گوشت به آب ۰/۲۲) در مقایسه با رقم موبیل (با نسبت ۰/۱۷) دارای میوه‌های سفت‌تری بود. تنش آبی، پارامترهای pH و مواد جامد انحلال پذیر میوه را تحت تأثیر قرار داد (در سطح یک درصد). با افزایش تنش آبی، میزان pH و مواد جامد انحلال پذیر افزایش یافت، به طوری که حداکثر pH و مواد جامد انحلال پذیر به ترتیب ۳/۴۷ و ۴/۹ از تیمار ۵۰ درصد مصرف آب حاصل شد. همچنین نسبت گوشت به آب میوه با افزایش تنش افزایش یافت. حداکثر کارایی مصرف آب ۹/۶ و ۹/۵ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار به ترتیب مربوط به تیمارهای سطوح آبیاری ۷۵ درصد در مرحله پس از برداشت اول تا انتهای فصل و ۵۰ درصد در مرحله نشا تا گل‌دهی بود. مقایسه نتایج به دست آمده با سایر گزارشها نشان می‌دهد که چنانچه برنامه‌ریزی صحیحی جهت تنش آبی برای گیاه اعمال شود، در روش آبیاری شیاری هم می‌توان کارایی مصرف آب را تا حد زیادی بالا برد. اما به دلیل حساسیت گیاه به تنش‌های یکنواخت در طول فصل، این گونه تنش‌ها توصیه نمی‌شود.

۲- واژه‌های کلیدی:

تنش آبی، کمیت، کیفیت، گوجه فرنگی، مراحل رشد.

۱- برگرفته از طرح تحقیقاتی به شماره ۲۳-۷۹-۱۲-۲۰-۱۲۵ اثرات کم آبیاری (تنش آبی) در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و

کیفیت دو رقم گوجه فرنگی (کال جی و موبیل)

۲- به ترتیب عضو هیئت علمی (پژوهشگر) بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی سمنان (شاهرود)، شاهرود-

کیلومتر ۳ جاده بسطام - مرکز تحقیقات کشاورزی سمنان (شاهرود)- صندوق پستی ۳۱۳-۳۶۱۵۵، تلفن ۰۲۷۳-۲۲۲۷۴۷۱-۰۲۷۳،

دورنگار: ۰۲۷۳-۲۲۲۹۹۲۳، و عضو هیئت علمی (پژوهشگر) بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر مرکز تحقیقات کشاورزی

۳- مقدمه:

منابع آب و خاک جزء سرمایه های ملی و متعلق به همه نسلهاست. امروزه مقوله افزایش عملکرد، یا بالا بردن تولید در واحد سطح، به ازای آب مصرفی استوار شده است. در کشور ما توجه به این امر از آن رو ضروری است که در منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده است و محدودیت بیشتر منابع آب و خاک نسبت به سایر مناطق دنیا در آن وجود دارد. بر اساس آمار و اطلاعات موجود، در حال حاضر مصرف آب در کشور حدود ۹۴ میلیارد متر مکعب در سال است که ۸۴ درصد آن در بخش کشاورزی و بقیه در بخشهای شرب، صنعت و سایر موارد به مصرف می رسد [۱]. با توجه به رقم بسیار بالای مصرف آب در بخش کشاورزی، اگر بتوان شرایطی فراهم کرد که با استفاده صحیح از آب فقط چند درصد در این بخش صرفه جویی شود، رقم آن بسیار قابل توجه خواهد شد. کم آبیاری^۱ یک تکنیک فنی برای بهینه سازی میزان آب مصرفی و عملکرد محصول است که برای اغلب محصولات و در اکثر شرایط محیطی به خصوص در مواردی که محدودیت منابع آب و زمین وجود دارد، قابل اجراست. آبیاری کامل زمانی موجه و منطقی است که همراه با آن سایر عوامل تولید نیز در حد کمال باشد و گرنه آبیاری کامل فقط هدر دادن آب است [۳]. سطح زیر کشت گوجه فرنگی در استان سمنان حدود ۱۵۰۰ هکتار با متوسط تولید ۳۰ تن در هکتار است که برای تولید آن ۱۳۰۰۰-۱۰۰۰۰ متر مکعب در هکتار آب مصرف می شود. از طرفی، کارایی مصرف آب برای تولید این محصول در کشور ۴ کیلوگرم بر مترمکعب است که این رقم می تواند تا

۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب نیز افزایش یابد، رسیدن به رقم ۱۸ با اعمال مدیریت صحیح آبیاری، استفاده از روشهای آبیاری نوین و کم آبیاری به سهولت امکان پذیر است [۱].

تحقیقات نشان می دهد که کم آبیاری سبب افزایش درصد پروتئین گندم، درصد قند در چغندر قند و انگور و افزایش طول الیاف در کتان می شود [۴]. براساس تحقیقات انجام شده تنش یکنواخت در طول فصل رشد گوجه فرنگی عملکرد را به میزان زیادی کاهش می دهد [۱]. منابع موجود مراحل حساس گیاه گوجه فرنگی به تنش های آبی را زمان تشکیل گل، میوه و مرحله رشد سریع میوه ذکر کرده اند [۳]. کم آبیاری عملکرد و آب ذخیره شده میوه گوجه فرنگی را کاهش می دهد، اما میزان مواد جامد انحلال پذیر، درصد قند، میزان اسید سیتریک و پتاسیم را افزایش می دهد [۴]. مقایسه روش های آبیاری قطره ای و شیاری و سطح تنش های وارده شده به گیاه گوجه فرنگی که باغانی و همکاران (۱۳۷۹) در محل ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق انجام دادند نشان داد که، عملکرد محصول در روش آبیاری قطره ای نسبت به روش شیاری افزایش می یابد، و تنش های آبی در برابر فصل آبیاری عملکرد را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد. کارایی مصرف آب در روش آبیاری قطره ای با صد درصد تأمین آب مورد نیاز، ۱۰/۳ و در روش آبیاری شیاری با تأمین ۵۰ درصد آب مورد نیاز، ۳/۳ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار ذکر شده است [۱].

ویت کهلر و همکاران (Veit Kohler et al., 2001) گزارش کردند که کاهش مصرف آب از ۷۰ درصد به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ($\alpha = 0/5$) تعداد میوه در

هر بوته را کاهش می دهد ولی بر متوسط وزن میوه، عملکرد کل، و بازار پسندی مؤثر نیست. همچنین غلظت گلوکز، فروکتوز، و میزان ویتامین C میوه افزایش می یابد [۱۵].

سیستم ریشه گیاه گوجه فرنگی گسترده است و می تواند به خوبی به اعماق خاک نفوذ کند، محدود کردن آبیاری یا اجتناب از آبیاری زیاد به خصوص در نیمه اول دوره رشد گیاه از اهمیت خاصی برخوردار است [۵]. در اقلیم های خشک شبه حاره ای و در دوره های خشک نواحی معتدل و مدیترانه ای، آبیاری صحیح و تأمین مقدار اپتیمم آب موجب گلدهی بیشتر و رسیدن همزمان محصول می شود [۵]. در نیمه دوم دوره رشد، متوقف کردن آبیاری موجب همزمان رسیدن میوه ها می گردد [۵]. عکس العمل این گیاه نسبت به تأمین آب اپتیمم در اقلیم های خشک و سال های خشک سریع است [۵]. مطالعات نشان می دهد که ریشه برخی از گیاهان رطوبت را از خاک جذب و به عنوان یک اولویت برای نیاز خود حفظ می کند و تنها مقدار اضافی آن به اندام های هوایی منتقل می شود. در شرایطی که رطوبت در حد متوسط است اندام های هوایی با کمبود رطوبت مواجه می شوند و ریشه های دارای رطوبت کافی، به رشد خود ادامه می دهند [۱۱]. در شرایط تنش نیز اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه ادامه می یابد و ریشه ها به لایه های عمیق تر دارای رطوبت کافی حرکت می کنند و رشد جانبی آنها کم می شود. به عبارت دیگر ریشه ها مستقیم تر رشد می کنند [۱۲]. در تحقیق دیگر در مورد اثر آب موجود در خاک بر رشد ریشه گیاهان مشخص شد که با افزایش تنش رطوبتی، سرعت رشد ریشه

کاهش می یابد. اما رشد ریشه نسبت به رشد قسمت های هوایی کمتر تحت تأثیر قرار می گیرد [۱۳]. همچنین، زمانی که رطوبت خاک در ناحیه ریشه کافی نیست، ریشه به سرعت به قسمت های دیگری از خاک که دارای رطوبت بیشتری است گسترش می یابد [۱۴].

این تحقیق با هدف پیدا کردن مراحل حساس به تنش و میزان آن و افزایش کارایی مصرف آب، از طریق اعمال تنش هایی در مراحل مختلف دوره رشد گیاه انجام شد.

۴- مواد و روش ها:

محل اجرای طرح اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی سمنان، در بسطام، با متوسط بارندگی ۱۷۵ میلی متر بود. بر اساس آمار درجه حرارت و رسم منحنی آمبروترمیک، دوره خشک از اواسط اردیبهشت شروع می شود و تا نیمه آبان ماه ادامه دارد و بقیه ماه های سال جزء دوره مرطوب منطقه محسوب می گردد. مطابق طبقه بندی آمبرژه، اقلیم منطقه خشک و سرد است.

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت، از عمق های (۰-۳۰) و (۳۰-۶۰) سانتی متر نمونه گیری شد. بعد از خشک کردن نمونه ها و خرد کردن آنها، بافت خاک با عبور دادن نمونه ها از الک ۲ میلی متری با استفاده از روش هیدرومتری مشخص شد. جرم مخصوص ظاهری خاک نیز با روش پارافین (نمونه های دست نخورده)، و مقدار رطوبت در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی با استفاده از صفحات فشاری^۱ در مکش های ۰/۳ و ۱۵ بار تعیین شد. با استفاده از گل

اشباع تهیه شده از نمونه خاک، اسیدیته آن با
دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی عصاره
اشباع خاک با دستگاه هدایت سنج اندازه گیری
شد. فسفر خاک به روش اسپکتروفتومتر
و ازت کل خاک به روش کج‌لدال تعیین
شد [۹]. جدول شماره ۱ خلاصه نتایج
خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را نشان
می‌دهد.

جدول شماره ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

پارامتر های اندازه گیری شده		عمق خاک (سانتی متر)	
		۳۰-۰	۶۰-۳۰
۱- بافت خاک	لوم	۳۰	۶۰
الف- درصد شن	۴۵	۴۵	۴۵
ب- درصد سیلیت	۳۲	۳۲	۳۴
ج- درصد رس	۲۳	۲۳	۲۱
۲- جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	۱/۴۶	۱/۴۶	۱/۵۹
۳- رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه (درصد)	۲۰/۷	۲۰/۷	۱۹/۷
۴- رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی (درصد)	۹/۵	۹/۵	۹
۵- اسیدیته خاک	۷/۹	۷/۹	۷/۸
۶- هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر)	۱/۴	۱/۴	۱/۳
۷- عناصر غذایی			
الف- پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)	۳۷۰	۳۷۰	۳۶۰
ب- فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)	۱۶	۱۶	۱۲
ج- ازت کل (درصد)	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

به منظور تعیین کیفیت آب، دو نمونه تهیه و آزمایش شد که نتایج تجزیه کیفی آن مطابق جدول شماره ۲ است.

جدول شماره ۲- نتایج تجزیه کیفی آب مورد استفاده در آزمایش

SAR	آنیون های محلول		کاتیون های محلول				pH	هدایت	پارامترهای
	(میلی اکی والان بر لیتر)		(میلی اکی والان بر لیتر)					الکتریکی	اندازه گیری
	HCO ₃ ⁻ +CO ₃ ²⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺		(دسی زیمنس بر متر)	شده
۲/۱	۲/۹۸	۰/۹۲	۵/۲	-	۳/۵	۵/۶	۸/۱	۱/۱۵	مقدار

طرح در قالب اسپلیت اسپلیت پلات با سه فاکتور
در سه تکرار اجرا شد [۱۰]. فاکتورهای طرح عبارت
بودند از: ۱- مقادیر مختلف آب آبیاری به عنوان
پلات اصلی، در سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد آب
مورد نیاز گیاه، ۲- مراحل مختلف رشد گیاه به
عنوان پلات فرعی، در چهار سطح S_1 (زمان نشا تا

بنابراین طول هر ردیف خط کاشت ۱۵ متر و تعداد خطوط کاشت در هر کرت آزمایشی چهار خط انتخاب شد. بدین ترتیب سطح هر بلوک ۹۷۵ مترمربع، و سطح کل طرح مورد آزمایش ۳۵۰۰ متر مربع بود. این طرح از سال ۱۳۷۹ به مدت دو سال زراعی اجرا شد.

میزان تبخیر و تعرق پتانسیل از رابطه زیر محاسبه می شد [۹].

$$ET_o = K_{pan} \cdot ET_{pan}$$

در این رابطه :

ET_o = تبخیر و تعرق پتانسیل در فاصله دو آبیاری؛

K_{pan} = ضریب تشتک تبخیر (با توجه به نوع و محل نصب آن و سایر شرایط ۰/۷۵ منظور شد)؛

ET_{pan} = میزان تبخیر از تشتک بین هر دو آبیاری متوالی است.

سپس مقدار تبخیر و تعرق گیاه از رابطه زیر محاسبه می شد:

$$ET_{crop} = K_c \cdot ET_o$$

در این رابطه:

ET_{crop} = تبخیر و تعرق گیاه؛

K_c = ضریب گیاهی است.

ضریب گیاهی K_c بر اساس روش پیشنهادی فائو برای منطقه تعیین شد (که برای اردیبهشت ماه ۰/۴۵ و نیمه اول و دوم خرداد ماه به ترتیب ۰/۵، ۰/۶ و تیر ۰/۷، ۰/۸ و مرداد ۱، ۱ و شهریور ۰/۹، ۰/۸) و سپس ET_{crop} محاسبه و با اعمال ضرایب مربوط به سطوح آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰

شروع گلدهی)، S_2 (شروع گلدهی تا شروع میوه دهی)، S_3 (شروع میوه دهی تا اولین برداشت)، S_4 (بعد از اولین برداشت تا انتهای فصل رشد)، ۳- ارقام گوجه فرنگی به عنوان پلات فرعی فرعی، در دو سطح V_1 (موبیل Mobile)، V_2 (کال جی Cal-J). بدین ترتیب تعداد پلات های فرعی در داخل هر پلات اصلی ۸ و کل پلات ها در هر بلوک آزمایشی ۲۴ و تعداد کرت های آزمایشی ۷۲ بود. در این مقاله تیمارهای آبی با علائم W_75 ، W_50 ، W_{100} و مراحل رشد S_1 ، S_2 ، S_3 ، S_4 و ارقام گوجه فرنگی V_1 و V_2 مشخص شده اند.

– روش آبیاری و محاسبه مقدار آب

روش آبیاری، جوی پشته ای معمول منطقه انتخاب شد. شیب بندی و کنترل آب طوری اجرا شد که هیچ آبی از انتهای جوی (شیار) خارج نشود. آب آبیاری با لوله تا ابتدای هر کرت آزمایشی منتقل و به طور یکسان در تمام کرت ها توزیع می شد. مقدار آب آبیاری در هر تیمار توسط شیر فلکه ها و کنتورهای حجمی که برای سیستم تعبیه شده بود، اندازه گیری و کنترل می شد. مقدار آب آبیاری با استفاده از میزان تبخیر از تشتک کلاس A مستقر در ایستگاه هواشناسی محل طرح محاسبه و با منظور نمودن مقادیر مختلف سطوح آبی ذکر شده در تیمارها با دور آبیاری ۷ روز و با رعایت ظرفیت نگهداری آب در خاک به گیاه داده می شد. فاصله ردیف ها ۱۲۰ سانتی متر و فاصله بوته ها روی ردیف ۵۰ سانتی متر [۷ و ۸]، طول هر خط کاشت برای هر رقم ۷ متر و بین دو رقم، یک متر فاصله در نظر گرفته شد و گیاه در یک طرف پشته نشا شد.

اجرای آزمایش‌های کیفی محصول مانند pH، نسبت آب به گوشت، و مواد جامد انحلال پذیر نیز از هر کرت نمونه‌هایی تهیه و پارامترهای مربوط اندازه‌گیری شدند.

پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم افزار کامپیوتری MSTATC جداگانه در هر سال تجزیه و تحلیل آماری شدند و نهایتاً داده‌های دو سال تجزیه مرکب شد.

۵- نتایج و بحث:

- عملکرد

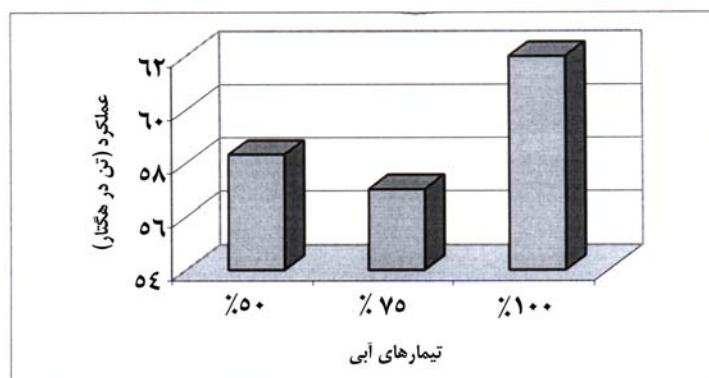
متوسط عملکرد رقم موبیل وکال - جی به ترتیب ۵۸/۷ و ۵۹/۵ تن در هکتار بود. تجزیه مرکب داده‌های مربوط به عملکرد حاصل از دو سال آزمایش نشان داد ارقام از نظر عملکرد با هم تفاوت آماری ندارند.

اثر تیمارهای آبیاری (مقدار آب مصرفی) بر عملکرد محصول نیز معنی‌دار نشد. بیشترین عملکرد (۶۲ تن در هکتار) با مصرف ۱۰۰ درصد آب و کمترین عملکرد (۵۷ تن در هکتار) با مصرف ۷۵ درصد آب حاصل شد (نمودار شماره ۱). تیمارهای W100S4 و S4W50 به ترتیب با ۷۶۰۰ و ۶۰۰۰ متر مکعب در هر هکتار، دارای بیشترین و کمترین مقدار آب مصرفی بودند، با توجه به اینکه عملکردهای این تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت، می‌توان با برنامه‌ریزی صحیح (بدون کاهش قابل توجه در عملکرد) صرفه جویی حدود ۱۶۰۰ مترمکعب آب در هکتار امکان پذیر است.

درصد، مقدار آب مورد نیاز هر کرت آبی در هر تیمار آزمایشی محاسبه شد و در اختیار گیاه قرار می‌گرفت (با توجه به شرایط اجرای طرح، راندمان آبیاری ۷۵ درصد منظور شد). دور آبیاری بر اساس شرایط آب و هوایی، جنس خاک، و محصول برآورد شد، و مقدار آب آبیاری با توجه به ظرفیت نگهداری آب در خاک مورد آزمایش، طوری انتخاب شد که میزان تلفات عمقی در هر نوبت آبیاری به حداقل ممکن تقلیل یابد. به این معنی که دور آبیاری ۹ روز برای منطقه برآورد شد، اما به منظور حذف تلفات عمقی دور آبیاری ۷ روز اعمال می‌شد.

عملیات آماده سازی زمین و اجرای سیستم انتقال آب در فروردین ماه و انتقال نشای گوجه فرنگی از خزانه به زمین مورد آزمایش در پانزدهم اردیبهشت هر سال انجام می‌شد. در هر دو سال، اولین آبیاری همراه با نشا در همه تیمارها به طور یکسان (۷ سانتی‌متر) و آبیاری‌های بعدی مطابق تیمارهای ذکر شده انجام می‌شد. وجین علف‌های هرز، مبارزه با آفات و بیماری‌های گیاهی در سراسر فصل رشد برای کلیه تیمارها یکسان بود. کود نیز بر اساس نیاز خاک در کلیه تیمارها یکسان داده شد.

محصول در هر سال در هفت نوبت به صورت دستی برداشت شد. به منظور حذف اثرهای حاشیه‌ای، محصول قسمت وسط کرت‌ها برداشت می‌شد. محصول در هر برداشت در تیمارهای مختلف وزن می‌شد. برای تعیین متوسط تعداد میوه هر بوته و متوسط وزن هر میوه نیز تعدادی بوته در هر کرت به طور تصادفی انتخاب می‌شد. برای



نمودار شماره ۱- میانگین دو ساله عملکرد تیمارهای آبیاری

اثر متقابل تیمارهای آبیاری و مرحله رشد، عملکرد (به ترتیب برابر ۴۷/۹، ۵۱/۲، ۵۴/۱ تن در هکتار) در یک گروه آماری و سایر تیمارها نیز با عملکردی بیشتر در گروه آماری دیگری قرار دارند. تیمارهای W75S2، W50S2، W75S3 با کمترین

جدول شماره ۳- گروه بندی متوسط عملکرد تیمارهای آزمایشی در دو سال آزمایش

ردیف	تیمار		متوسط عملکرد (تن در هکتار)
	مرحله رشد (S)	سطح آبیاری (W)	
۱	۳	۱۰۰	۶۴/۸۳a*
۲	۱	۵۰	۶۴/۸۰a
۳	۱	۷۵	۶۲/۸۷ab
۴	۴	۷۵	۶۲/۷۹ab
۵	۱	۱۰۰	۶۱/۶۱ab
۶	۳	۵۰	۶۱/۲۰ab
۷	۲	۱۰۰	۶۰/۷۵ab
۸	۴	۱۰۰	۶۰/۶۱ab
۹	۴	۵۰	۵۶/۰۹abc
۱۰	۳	۷۵	۵۴/۱۲bc
۱۱	۲	۵۰	۵۱/۲۲c
۱۲	۲	۷۵	۴۷/۸۹c

* اعدادی که با حروف نامتشابه مشخص شده‌اند از لحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

بر اساس نتایج طرح، تنش آبی ۵۰ درصدی (سطح آبیاری ۵۰ درصد) در مقایسه با تنش ملایم‌تر ۲۵ درصد (سطح آبیاری ۷۵ درصد آبیاری کامل) توانست عملکرد محصول را در سراسر فصل افزایش دهد. علت آن احتمالاً این است که تنش فقط در یک مرحله از فصل وارد شده و در بقیه دوره رشد، آب به اندازه نیاز کامل در اختیار گیاه قرار گرفته است. بنابراین، تنش شدیدتر در یک مرحله سبب گسترش بیشتر سیستم ریشه گیاه شده است. یکی از راه‌های مطمئن برای مقابله با صدمات حاصل از خشکی در گیاهان، وجود ریشه‌های عمیق و گسترش یافته و پر انشعاب شبیه به ریشه‌های ذرت خوشه‌ای است [۲ و ۶]. گیاهانی مانند سیب‌زمینی، پیاز، و کاهو که سیستم ریشه‌های سطحی و کم انشعاب دارند سریع‌تر از گیاهانی مانند یونجه، ذرت، و گوجه‌فرنگی صدمه می‌بینند که ریشه‌های عمیق دارند [۲]. ترکیب شرایطی از خاک و مدیریت آبیاری و توانایی گیاه در ساختن ریشه‌های عمیق وضعیتی به وجود می‌آورد که از لحاظ مقاومت گیاه در مقابل کم آبی مفید است [۲]. بنابراین، ایجاد تنش شدیدتر در یک مرحله غیرحساس از فصل رشد گیاه می‌تواند سیستم ریشه گیاه را عمیق‌تر و گسترده‌تر کند و گیاه را قادر سازد تا در مراحل بعدی از آب و مواد غذایی در دسترس بهتر بهره‌برد [۲، ۶، ۱۱-۱۴].

همچنین، بر اساس نتایج به دست آمده از این طرح و منابع (از جمله منبع شماره ۵)، مرحله نشا تا شروع گلدهی در گوجه‌فرنگی مرحله‌ای حساس به تنش‌های آبی نیست و بدین ترتیب می‌توان پس از نشان دادن نشا در خاک و مستقر شدن کامل گیاه،

تنش‌های آبی را اعمال کرد. توصیه می‌شود تنش‌های آبی از طریق زیاد کردن فواصل آبیاری اعمال نشود بلکه با همان فواصل آبیاری معین مقدار آب داده شده در هر نوبت کاهش یابد. نتایج حاصل نشان داد این تنش‌ها می‌تواند تا ۵۰ درصد در نظر گرفته شود. مطالعات باغانی و همکاران [۱]، میشل و شنان به نقل از فریرز عباسی [۴] نشان می‌دهد که چنانچه تنش‌های آبی ۵۰ درصدی در سراسر فصل رشد گوجه‌فرنگی به طور یکنواخت اعمال شود، عملکرد محصول به شدت کاهش می‌یابد. بنابراین، با توجه به طول مرحله پس از نشا تا شروع گلدهی، که به طور متوسط ۳۵-۴۵ روز است، با کم کردن مقدار آب آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز گیاه می‌توان حدود ۷۵۰ مترمکعب در هر هکتار صرفه‌جویی کرد. مرحله حساس به تنش آبی در گوجه‌فرنگی بر اساس نتایج حاصل از طرح و منابع (از جمله منبع شماره ۵)، مرحله شروع گلدهی تا بستن میوه است که هر نوع تنش ملایم (۲۵ درصد) یا شدید (۵۰ درصد) می‌تواند عملکرد محصول را در این به طور قابل توجه کاهش دهد. تنش در این مرحله سبب بارور نشدن گل‌ها و حتی ریزش گل‌های تلقیح شده می‌گردد. این مطلب با اطلاعات موجود در منابع دیگر نظیر منبع ۳، ۵ و ۱۵ مطابقت دارد. مرحله رشدی شروع میوه‌دهی تا اولین برداشت، مرحله‌ای نیمه‌حساس به کمبود آب است. به طوری که تنش ملایم (آب مصرفی ۷۵ درصد) سبب کاهش عملکرد و تنش شدید (۵۰ درصد آب مصرفی) تأثیری بر عملکرد محصول ندارد، این مرحله، مرحله‌ای رویشی است و در آن میوه بزرگ می‌شود. در شرایط تنش شدید (۵۰ درصد مصرف آب) گیاه برای حفظ خود مواد بیشتری به ریشه‌ها منتقل

می کند. بدین ترتیب حجم ریشه ها بیشتر گسترش می یابد [۲] و با توجه به اینکه طول این دوره حدود ۳۰-۴۰ روز است، سبب می شود که گیاه در مراحل

بعدی که آب به حد کافی در اختیارش قرار گیرد. به دلیل حجم بیشتر ریشه از آب و مواد غذایی در دسترس بهتر استفاده کند که در نتیجه نقصان عملکرد جبران می شود و کاهشی در عملکرد محصول حاصل نخواهد شد. ولی در شرایط تنش ملایم (۷۵ درصد مصرف آب) عملکرد کاهش می یابد. اما به دلیل گسترش نیافتن ریشه، گیاه نمی تواند در مراحل بعدی این کاهش عملکرد را جبران کند.

مرحله اولین برداشت تا پایان فصل رشد مرحله ای حساس به کمبود آب نیست و به دلیل طولانی بودن این مرحله، گیاه خود را با شرایط موجود تطبیق می دهد. بنابراین می توان آب مصرفی را تا ۵۰ درصد کاهش داد (بی آنکه کاهش قابل توجه در عملکرد

- کارایی مصرف آب

کارایی مصرف آب عبارت است از نسبت عملکرد محصول به کل آب مصرفی در طول فصل رشد گیاه که بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار بیان می شود. به عبارت دیگر کارایی مصرف آب میزان تولید محصول به ازای هر مترمکعب آب مصرفی در هکتار است. در این تحقیق، کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف و با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شد. نتایج تجزیه مرکب دو سال آزمایش نشان داد که کمترین کارایی مصرف آب یکی مربوط به تیمار مرحله گلدهی با هر نوع تنش (ملایم و تند) و دیگری تیمار تنش ملایم در زمان میوه دهی (مرحله ۳) است که نشان دهنده حساسیت مرحله گلدهی است. جدول شماره ۴ مقایسه میانگین های کارایی مصرف آب را نشان می دهد.

جدول شماره ۴- متوسط کارایی مصرف آب تیمارها

ردیف	تیمار	کارایی مصرف آب	
		سطح آبیاری (W)	(کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار)
۱	مرحله رشد (S)	۷۵	۹/۶a*
۲	۱	۵۰	۹/۵a
۳	۴	۵۰	۹/۳ab
۴	۳	۵۰	۹/۲ab
۵	۱	۷۵	۸/۷abc
۶	۳	۱۰۰	۸/۵Abc
۷	۱	۱۰۰	۸/۱abcd
۸	۲	۱۰۰	۷/۹abcd
۹	۴	۱۰۰	۷/۹abcd
۱۰	۳	۷۵	۷/۷bcd
۱۱	۲	۵۰	۷/۱cd
۱۲	۲	۷۵	۶/۵d

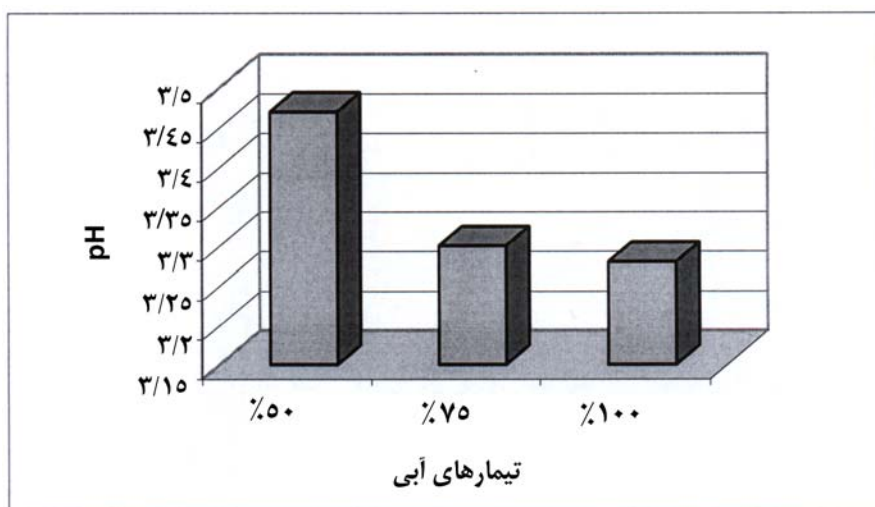
* اعدادی که با حروف نامتشابه مشخص شده اند از نظر آماری اختلاف معنی دارند.

بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین کارایی مصرف آب در دو تیمار است یکی تیمار آبیاری ۷۵ درصد تأمین نیاز آبی و مرحله رشد ۴ (W75 S4) بعد از برداشت اول تا انتهای فصل) و دیگری ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی و مرحله رشد ۱ (W50 S1) بعد از نشاء تا قبل از گلدهی) و به ترتیب برابر با ۹/۶ و ۹/۵ است. کمترین کارایی مصرف آب مربوط به مرحله ۲ (W75 S2 و W50 S2) گلدهی تا بسته شدن میوه‌ها) به ترتیب برابر با ۶/۵ و ۷/۱ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار است، که نشان دهنده حساسیت مرحله گلدهی تا بستن میوه (مرحله ۲)، صرف نظر از تیمار سطح آبیاری، نسبت به تنش‌های آبی است. باغانی و همکاران [۱] کارایی مصرف آب را در روش آبیاری قطره‌ای با صد درصد تأمین آب در سراسر فصل ۱۰/۳ و در روش شیاری با اعمال ۵۰ درصد تنش یکنواخت در سراسر فصل رشد برابر با ۳/۳ کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار گزارش کرده‌اند. مقایسه نتایج به دست آمده از این طرح با

نتایج مذکور نشان می‌دهد که چنانچه برنامه‌ریزی صحیحی در زمینه تنش آبی برای گیاه اعمال شود حتی در روش آبیاری شیاری هم می‌توان کارایی مصرف آب را تا حد روش‌های آبیاری قطره‌ای بالا برد. اما به دلیل حساسیت گیاه به تنش‌های یکنواخت در طول فصل، اینگونه تنش‌ها توصیه نمی‌شود.

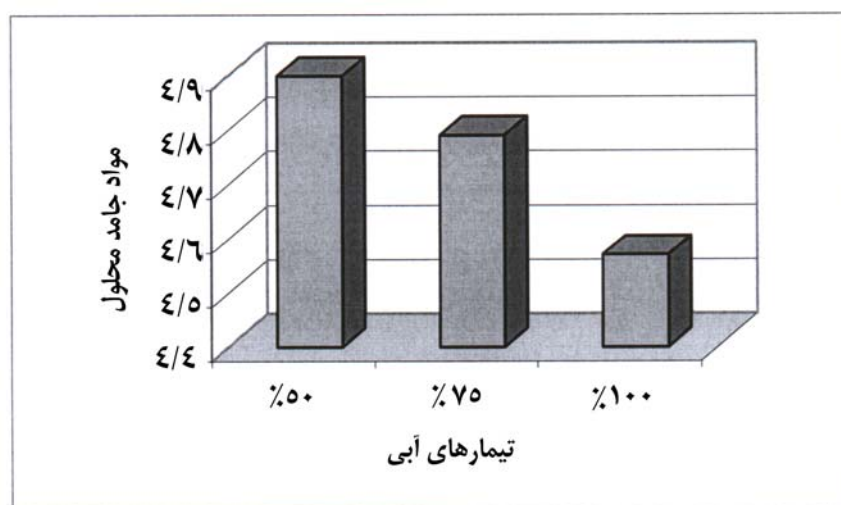
- خصوصیات کیفی

pH یکی از مهمترین پارامترهای کیفی میوه گوجه‌فرنگی است. نتایج نشان می‌دهد ارقام از نظر pH اختلافی معنی‌دار با یکدیگر دارند (pH موبیل برابر ۲/۳۲ و pH کال-جی برابر ۳/۳۸ است). تیمارهای آبیاری بر این پارامتر مؤثر بودند، به طوری که تیمار آبیاری ۵۰ درصد بالاترین pH (برابر ۳/۴۷) را به دست داد (نمودار شماره ۲). بنابراین با کاهش مصرف آب و اعمال تنش آبی، pH در میوه گوجه‌فرنگی افزایش می‌یابد.



نمودار شماره ۲- متوسط pH در تیمارهای آبیاری

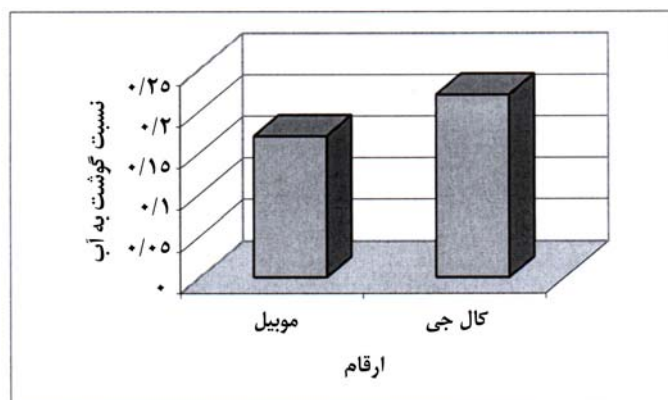
مواد جامد انحلال پذیر از پارامترهای کیفی است که غلظت ذرات جامد محلول را معین می کند. تجزیه مرکب نتایج دو ساله نشان می دهد که این پارامتر تحت تأثیر ارقام قرار ندارد ولی با احتمال ۹۰ درصد (در سطح ۱۰ درصد) تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار می گیرد. مقایسه میانگین ها نشان می دهد که تأمین ۵۰ درصد آب مورد نیاز گیاه، بیشترین و تأمین ۱۰۰ درصد آب، کمترین مقدار مواد جامد انحلال پذیر را دارند. بنابراین با افزایش تنش آبی، مواد جامد انحلال پذیر میوه افزایش می یابد. (نمودار شماره ۳).



نمودار شماره ۳- متوسط مواد جامد انحلال پذیر در تیمارهای آبیاری

نسبت گوشت به آب در میوه یکی دیگر از پارامترهای کیفی محصول است. تجزیه و تحلیل داده ها نشان می دهد که ارقام از نظر این پارامتر با هم دارای اختلافی معنی دار ($\alpha = 0.05$) هستند. به طوری که رقم کال- جی (با نسبت گوشت به آب ۰/۲۲) در مقایسه با رقم موبیل با (نسبت ۰/۱۷) برتری دارد (نمودار شماره ۴). بنابراین، آب موجود در میوه رقم کال- جی کمتر از رقم موبیل است، در نتیجه سفتی این رقم بیشتر و خاصیت حمل و نقل آن بهتر است.

اثر متقابل تیمار سطح آبیاری و مرحله رشد نیز بر این پارامتر مؤثرند. بررسی میانگین ها نشان می دهد که آبیاری کامل (۱۰۰ درصد مصرف آب) پس از برداشت اول تا انتهای فصل رشد، سبب کاهش شدید این پارامتر خواهد شد. به عبارت دیگر، آبیاری کامل مقدار آب میوه گوجه فرنگی را افزایش می دهد که این امر سبب کاهش خاصیت نگهداری و حمل و نقل گوجه فرنگی می شود.



نمودار شماره ۴- متوسط نسبت گوشت به آب در ارقام گوجه فرنگی

۵- نتیجه گیری:

تنش آبی یکنواخت در طول فصل رشد سبب کاهش عملکرد محصول گوجه فرنگی می شود. از این رو به دلایل زیر توصیه می شود که به جای تنش های آبی یکنواخت در سراسر فصل، تنش های آبی در یک یا دو مرحله از مراحل غیرحساس در فصل رشد آن اعمال شود.

۱- تنش آبی باعث صرفه جویی مقادیر قابل توجهی آب می شود.

۲- هر گونه تنش آبی در مراحل اولیه رشد گیاه سبب گسترش و پراکندگی سیستم ریشه گیاه خواهد شد و گیاه را قادر می سازد در بقیه مدت فصل از آب و مواد غذایی در دسترس بهتر استفاده کند.

۳- تنش آبی می تواند خصوصیات کیفی محصول مانند pH، درصد گوشت، مواد جامد انحلال پذیر و خاصیت حمل و نقل میوه را افزایش دهد و کیفیت میوه را بهبود بخشد.

همچنین توصیه می شود که در خصوص تأثیر تنش های شدید بر فعالیت و گسترش ریشه گیاه گوجه فرنگی بیشتر تحقیق شود.

براساس نتایج حاصل از طرح، پارامترهای کیفی pH و درصد مواد جامد انحلال پذیر تحت تأثیر رقم گوجه فرنگی قرار نمی گیرند. اما تنش های آبی اثر معنی داری روی این دو پارامتر دارد. به طوری که با کاهش مصرف آب، مقدار pH میوه افزایش می یابد. بیشترین مقدار ماده جامد انحلال پذیر در میوه در تیمار تنش آبی ۵۰ درصد و کمترین آن در تیمار آبی ۱۰۰ درصد حاصل شد. مطالعات سایر محققان [۴ و ۱۵] نیز این نتایج را تأیید می کند.

نسبت گوشت به آب میوه تحت تأثیر هر دو فاکتور رقم و تنش های آبی است. به طوری که در رقم کال- جی این نسبت بیشتر است. بنابراین، رقم کال- جی خاصیت حمل و نقل خوب و بازارپسندی بهتری دارد. اعمال تنش آبی نیز سبب کاهش آب موجود در میوه می شود. به گونه ای که با افزایش آب مصرفی برای گیاه (به خصوص در مرحله بعد از برداشت اول تا انتهای فصل)، آب موجود در میوه نیز افزایش می یابد و این عامل سبب کم شدن قدرت حمل و نقل میوه می شود. تحقیقات سایرین (میشل و شانان به نقل از فریبرز عباسی) مؤید این نتایج است [۴].

۶- مراجع:

- ۱- باغانی، ج. و عزیزاده، ا. ۱۳۷۹. عملکرد محصول و کارایی مصرف آب در آبیاری قطره‌ای و شیاری. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. جلد ۵. شماره ۱۸، ۱-۱۰.
- ۲- حیدری شریف آباد، ح. ۱۳۷۹. گیاه، خشکی و خشکسالی. مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع.
- ۳- خیرابی، ج. ۱۳۷۵. دستورالعمل‌های کم‌آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- ۴- عباسی، ف. و صادق زاده، ک. ۱۳۷۹. تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. جلد ۵. شماره ۱۸. ۲۳-۳۶.
- ۵- عزیزاده، ا. ۱۳۶۹. آبیاری قطره‌ای. انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۶- عزیزاده، ا. ۱۳۷۸. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۷- کمال، س. ط. بررسی و مقایسه عملکرد ارقام گوجه‌فرنگی در آذربایجان غربی. خلاصه مقالات دومین سمینار تحقیقات سبزی و صیفی. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی. ۱۳۷۴. ۱۱۱-۱۱۲.
- ۸- مرتضوی، ا. کاوسی، م. و مختارزاده، ع. ا. بررسی ارقام گوجه‌فرنگی در اصفهان. خلاصه مقالات اولین سمینار سبزی و صیفی. انتشارات فردابه. ۱۳۷۱. ۸۹-۹۱.
- ۹- موسوی فضل، س. ح. تأثیر دور آبیاری و تعداد قطره چکانها در روش آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و کیفیت هندوانه. مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۷۷. ۱۶۱-۱۷۷.
- ۱۰- یزدی صمدی، ب. رضایی، ع. و ولی‌زاده، م. ۱۳۷۶. طرحهای آماری در پژوهش‌های کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران.

- 11- Gupta, U. S. 1992. Root type. In: Crop improvement, Vol. 1. Physiological attributes. Oxford and IBH pub. Co. New Dehli, 161-191.
- 12- Hoogen Boom, G., Huck, M. G., and Peterson, C. M. 1987. Root growth rate of soyabean as affected by drought. Agron. J. 79, 607-614.
- 13- Peters, D. B. and Runkles, J. R. 1967. Shoot and root growth as affected by water availability. In: Irrigation of agricultural lands. Hagan, R. M., Haise, R. H. and Edminister, T. W. Agronomy series. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, 373-386
- 14- Sharma, R. B. and Ghildyal, B. P. 1977. Soil water – root relations. In: Wheat-Water extraction rate of wheat roots that develop under dry and moist conditions, Agron. J. 69, 231-233.
- 15- Veit-Kohler, U., Krumbein, A., and Kosegarten, H. 2001. Different water supply influences growth and fruit quality in tomato. In: Plant nutrition-Food security and sustainability of agro-ecosystems. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands, 308-309.

Effects of Water Stress at Different Stages of Growth on Yield and Fruit Quality of Two Tomato Varieties

S. H. Mousavi Fazl and A. R. Mohammadi

In order to investigate the effect of water stress at different growth stages on the yield and quality of tomato, a field experiment was conducted at agricultural research center of Semnan (Shahrood), during 1999-2001 years. The split-plot design with subplots in strips and three factors were used. Tomato varieties (Mobile, Cal- j) were transplanted in two strips in each block. Main plots were different amounts of water (50, 75 and 100 percent of full irrigation), and subplots were growth stages of plant (transplanting-flowering, flowering-fruit formation, fruit formation-first harvesting and after first harvesting-end of season). Irrigation requirement was determined by class-A evaporation pan. Irrigation method was furrow irrigation. The results showed that, there was no difference between the yield of the two varieties. Irrigation levels of 75 and 50. (25 and 50 percent water stress) decreased the yield of tomato in the S₂ stage (flowering-fructify). This decrease was about 13 ton per hectare (50 percent stress), but water stress had no significant effect on the yield, at other growth stages. Water levels of 50, 75, 100 percent with two season average yields of 58.3, 57 and 62 ton per hectare, respectively, were not significantly different. Water stresses affected the pH and brix index of the samples. The pH and brix increased with increase of water stress, so that the maximum pH and brix were obtained from 50% water stress treatment. The pulp to juice ratio decreased with increase of stress. The maximum water use efficiencies were 9.6 and 9.5 (kg/m³ha) for 75% in the 4th growth stage and 50% irrigation in the first growth stage, respectively.

Key words: Growth Stages, Quality, Tomato, Water Stress

تعیین مدول برش الاستیسیته خاک برای به کارگیری در مدل Plaxis^۱

مطالعه موردی (ترک خوردگی طولی سیل بند خاکی در هلند)

مهدی جعفری باری^۲

۱- چکیده:

یکی از پارامترهای مهم خاک برای استفاده در مدل محاسباتی Plaxis، برای تحلیل رفتار سازه‌های خاکی و مکانیزم گسیختگی آنها، مدول برش الاستیسیته است. برای برآورد این پارامتر و سایر خصوصیات، خاک، حفاری‌ها و آزمایش‌های ژئوتکنیکی متعددی روی بدنه یک سیل بند و زمین کنار آن در پایین دست اجرا شد. با استفاده از نتایج آزمایش‌ها، مدول برش الاستیسیته از نه روش متفاوت محاسبه شد. به علت اختلاف زیاد در مقادیر به دست آمده، با استفاده از روش آماری، مقدار مشخصه‌ای برای هر لایه تعیین گردید. جهت تشخیص صحت مقادیر مشخصه و مناسب‌ترین روش تعیین مدول برش، کالیبراسیون تنش‌ها و کرنش‌ها به کار گرفته شد که هر دو منجر به مقادیری بیش از مقادیر مشخصه مدول برش شد. مقایسه نتایج کالیبراسیون با نتایج روش‌های قبلی نشان می‌دهد که مقادیر مشخصه به دلیل کم بودن تعداد داده‌ها قابل اعتماد نیست و در مجموع استفاده از آزمایش سه محوری برای محاسبه مدول برش الاستیسیته مناسب‌تر از سایر روش‌هاست.

۲- واژه‌های کلیدی:

کالیبراسیون تنش‌ها و کرنش‌ها، مدول برش الاستیسیته، مقدار طراحی، مقدار مشخصه، Plaxis

۱- برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد و تحقیقات تکمیلی بر روی مدل مورد بحث

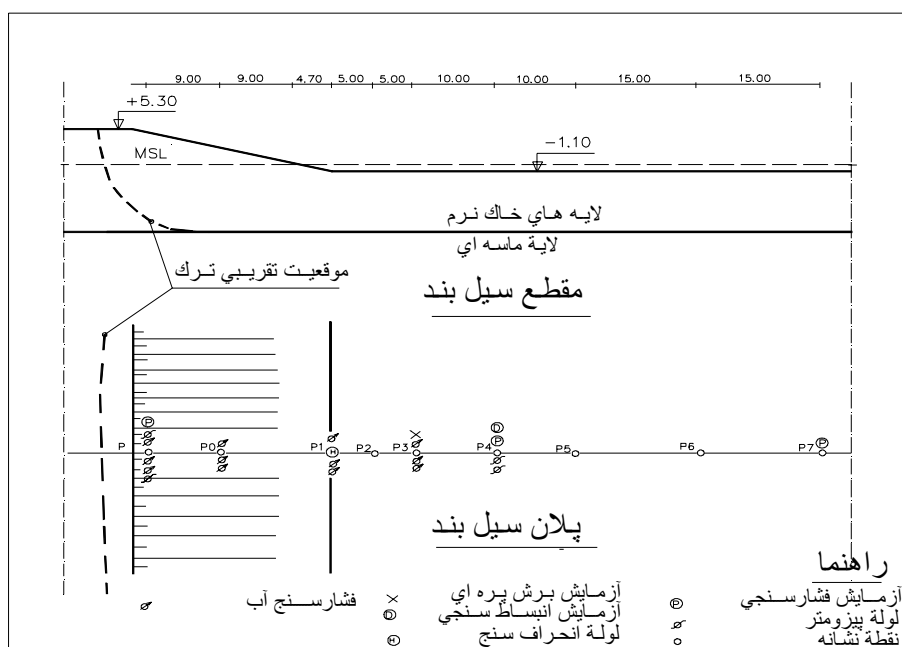
۲- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه- کیلومتر ۳ جاده سلماس- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی- صندوق پستی ۳۶۵، تلفن: ۰۴۴۱-۲۷۷۱۹۶۸، دورنگار: ۰۴۴۱-۲۷۶۴۱۸۴، پست الکترونیکی: jafaribari2002@noavar.com.

۳- مقدمه:

سیل بند خاکی مدت‌های مدید به دلیل وجود ترک‌های طولی در روسازی جاده روی آن، مرمت می‌شد ولی ترک‌های جدید در آن به وجود می‌آمد [۹]. در طول یک خط عمود بر سیل بند، دو نقطه روی بدنه و هفت نقطه در زمین کنار آن در نظر گرفته شدند که در این نقاط حفاری‌ها و آزمایش‌ها انجام گرفت. نقاط نشانه، پیزومتر (برای لایه ماسه‌ای)، فشارسنج آب (برای لایه‌های رسی)، لوله انحراف سنج^۲ به ترتیب برای اندازه‌گیری تغییر طول، سطح آب زیرزمینی و تغییر شکل‌های عمقی نصب شدند. آزمایش‌های نفوذ مخروط^۳، فشارسنجی منارد^۴، برش پره‌ای^۵، انبساط سنجی^۶ نیز برای اندازه‌گیری پارامترهای خاک در محل اجرا شدند (شکل شماره ۱).

جمع آوری، ثبت و تفسیر دقیق داده‌ها یکی از بخشهای اساسی طراحی ژئوتکنیک است. هدف هر بررسی ژئوتکنیکی، به دست آوردن داده‌های ضروری و قابل اعتماد از زمین و شرایط آب زیر زمینی است تا براساس آن بتوان معیارهای اجرایی برای سازه‌های خاکی و ایمنی سازه‌های اطراف را برآورده کرد.

برای یافتن علت به وجود آمدن ترک و به دست آوردن مشخصات مکانیکی خاک، روی سیل بندی واقع در ۲۰ کیلومتری شرق بندر روتردام هلند در محلی به نام برگامباخت و زمین‌های کنار آن^۱ عملیات حفاری، نمونه برداری، آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی متعددی انجام پذیرفت. این



شکل شماره ۱- مقطع سیل بند و موقعیت آزمایش‌های اجرا شده

1- Polder

2- Inclinometer

3- Cone Penetration Test

4- Menard Pressuremeter

5- Vane Shear Test

6- Dilatometer

به دلیل تبعیت پارامترهای خاک از قانون توزیع متغیرهای تصادفی، استفاده از آمار و احتمالات در برآورد مقدار واقعی پارامترهای خاک توصیه شده است [۳]. بولز (۱۹۸۲) در جای دیگر به نقش قضاوت مهندسی در ژئوتکنیک اشاره نموده و به کارگیری صحیح قضاوت مهندسی را مستلزم داشتن مقاطع دقیق از محل، داده های کافی از پارامترهای خاک، و اطلاعات لازم زمین شناسی برای رسیدن به تصمیم گیری صحیح، اقتصادی، و عملی دانسته است [۴].

بر اساس توصیه آیین نامه EURO Code 7، مقادیر طراحی^۱ پارامترهای مواد از روش ضرایب جزئی قابل استنتاج است. در این روش، ابتدا مقداری به عنوان نماینده^۲ پارامتر مواد انتخاب می شود و پس از تقسیم آن بر ضریب جزئی مربوط مقدار طراحی آن پارامتر به دست می آید. مقادیر نماینده برای پارامترهای خاک و سنگ باید بر اساس ارزیابی دقیق، مقادیری انتخاب شوند که در طول عمر مفید سازه ممکن است بر رفتار خاک حاکم شود. این ارزیابی باید اطلاعات ژئوتکنیکی و سایر زمینه ها را در نظر بگیرد از جمله: داده های پروژه های قبلی، و نتایج اندازه گیری های آزمایشگاهی و صحرایی. مقادیر نماینده طوری انتخاب می شوند که در نظر طراح، احتمال وقوع بدترین مقدار ممکن از ۵ درصد تجاوز نکند. در به دست آوردن مقادیر نماینده برای پارامترهای مواد، استفاده از روش های آماری در به دست آوردن مقادیر مشخصه مفید است ولی باید تأکید شود که تحلیل آماری به ندرت مستقیماً به مقادیر نماینده

روی نمونه های دست خورده آزمایش های شناسایی نظیر دانه بندی و حدود اتربرگ و طبقه بندی بر روی نمونه های دست نخورده نیز آزمایش های تحکیم و سه محوری اجرا شد [۶].

پارامترهای مختلف خاک شامل وزن مخصوص خشک و تر در لایه های مختلف، تراز سطح آب زیرزمینی، پارامترهای الاستیسیته شامل مدول الاستیسیته E، مدول برش G، نسبت پواسون ν ، و ضریب فشار جانبی خاک در حالت سکون K_0 ، پارامترهای پلاستیسیته شامل زاویه اصطکاک داخلی ϕ ، چسبندگی C، و زاویه انبساط خاک Ψ ^۱ و تغییر شکل ها شامل تغییر طول های سطحی و عمقی خاک با توجه به نتایج آزمایش های اجرا شده در محل، آزمایشگاه، و روابط تجربی محاسبه شد. نکته حائز اهمیت در برآورد پارامترها، تعیین مدول برش G است که با نه روش برای لایه های مختلف خاک محاسبه شد و به علت تفاوت معنی دار در نتایج، امکان به کارگیری آنها در مدل Plaxis بدون بررسی های لازم وجود نداشت. لذا ابتدا کارهای انجام شده و دیدگاه های ابراز شده بررسی شد که در زیر به بعضی از آنها اشاره شود.

مطابق اعلام گزارش CIRIA 63^۲ هیچگونه روش استاندارد در آیین نامه های بریتانیا برای تفسیر نتایج آزمایش های خاک برای برآورد مقادیر مشخصه^۳ پارامترهای آن وجود ندارد و در عمل از نتایج نمونه های آزمایشی مقادیر کوچک به عنوان پارامترهای طراحی به کار گرفته می شود که اغلب این نمونه ها از محل پروژه قبل از اجرا برداشته می شوند [۵].

1- Dilatancy Angle

3- Characteristic Value

2- Construction Industry Research and Information Association

4- Design Values

5- Representative Value

پارامترهای مواد می‌انجامد زیرا این مقادیر بیشتر به ارزیابی طراح از شرایط صحرایی بستگی دارند [۷].
USBR ضمن توصیه به اجرای آزمایش‌های دقیق برای تعیین خصوصیات مهندسی خاک‌ها، مقادیر متوسط تقریبی، برای گروه‌های مختلف خاک، به عنوان راهنمای کیفی در مراحل اولیه طراحی، را از تحلیل آماری نتایج تعداد زیادی از نمونه‌های آزمایشگاهی به دست آورده است [۱۲].

استاندارد ISO 2394 برای رسیدن به سطح اعتماد لازم در بررسی پایداری سازه ای، ضمن معرفی ضرایب اطمینان جزئی^۱، برای بارها و پارامترهای مقاومت، مقدار مشخصه یک متغیر اصلی x که دارای احتمال عدم تجاوز p باشد به صورت زیر تعریف نموده است.

$$X_k = \bar{x} - k\sigma_x \quad (1)$$

که در آن، x_k = مقدار مشخصه؛ $\bar{x}$ = مقدار متوسط متغیر اصلی؛ σ_x = انحراف معیار آن و k = ضریبی است که به توزیع احتمال برای رسیدن به احتمال p بستگی دارد [۵].

برای به دست آوردن مدول الاستیسیته E ، به علت وجود اطلاعات محدود در مورد کفایت آزمایش سه محوری برای برآورد مقدار واقعی این پارامتر، چند تن از محققان مانند Ladd, 1964; Hanna & Adams, 1968; Soderman *et al.*, 1968; Bozozuk & Leonards, 1972 به کارگیری مدول دوباره بارگذاری را پس از ۵ یا ۶ بار تکرار بارگذاری و باربرداری^۲ در این آزمایش توصیه کرده‌اند [۱۳].
در این تحقیق، برای ارزیابی صحت داده‌ها و برآورد مقادیر طراحی ابتدا با استفاده از قضاوت

مهندسی و روش آماری مقدار مشخصه‌ای برای هر لایه تعیین و سپس روش ابتکاری کالیبراسیون تنش‌ها و کرنش‌ها^۳ در مدل Plaxis و با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام گرفته در محل به کار گرفته شد [۹].

۴- مواد و روش‌ها:

۱- سازه مورد آزمایش

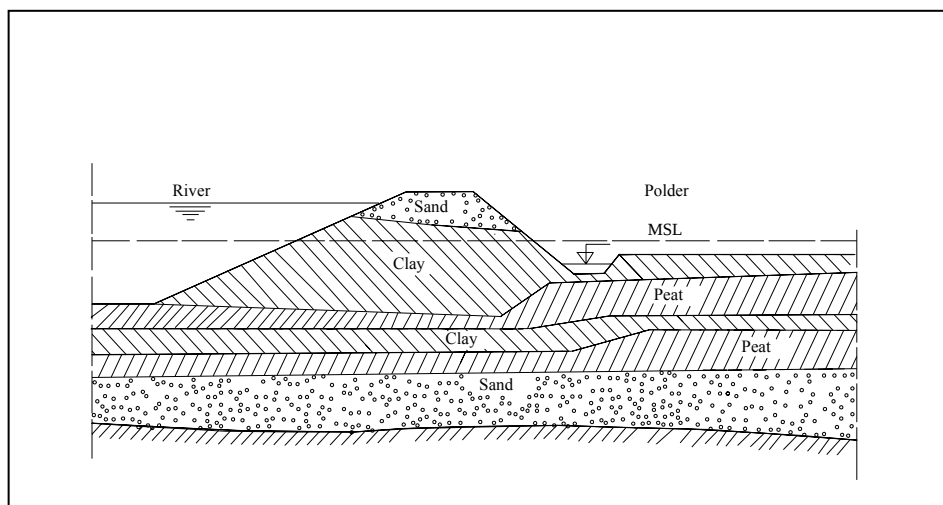
در هلند که بخش‌های زیادی از مساحت آن در زیر تراز متوسط سطح دریا قرار دارد در کنار دریای شمال و کناره رودخانه‌ها سیل بندهایی خاکی به طور وسیع ساخته شده است. پروفیل خاک در این قسمت‌ها از لایه‌های خاک رس و خاک آلی هولوسن به ضخامت ۸-۱۰ متر تشکیل شده که بر لایه ضخیمی از ماسه پلیستوسن قرار دارد [۱]. در شکل شماره ۲، لایه‌بندی خاک و مقطع سیل بند واقع بر آن نشان داده است. این سیل بند ۶/۴ متر ارتفاع و ۶/۰ متر عرض تاج دارد که ۲/۵ متر آن در بالا از جنس ماسه و بقیه از خاک رس ساخته شده است. پی این سیل بند از تناوب خاک رس و خاک آلی بر روی لایه ضخیم ماسه، تشکیل شده است. جهت بررسی رفتار لایه‌های مختلف خاک، به برآورد دقیق مشخصات مکانیکی آنها نیاز است که از میان پارامترهای خاک آنچه در مدل مورد نظر یعنی نسخه سوم Plaxis حائز اهمیت است مدول برش الاستیسیته است. این پارامتر در تشکیل ماتریس سختی^۴ الاستیک سازه نقش اساسی دارد که پایه محاسبات پلاستیک نیز قرار می‌گیرد [۱۳] و چنان که بعداً اشاره خواهد شد هرگونه خطا در برآورد آن موجب

1- Partial Safety Factors

2- Cyclic loading

3- Calibration of Stresses and Strains

4- Stiffness Matrix



شکل شماره ۲- مقطع سیل بند خاکی و لایه بندی پی و زمین های کنار آن

$$G = E' / 2(1 + \nu')$$

ایجاد تغییر شکل های غیر واقعی در سیستم می شود.

در تشکیل ماتریس سختی الاستیک Plaxis دو پارامتر به کار می رود که عبارت اند از مدول الاستیسیته مؤثر E' و نسبت پواسون مؤثر ν' . در ورودی پارامترهای مواد برای مدل الاستیک خطی یا مدل موهر-کولمب، در نسخه ۸ Plaxis مدول G به عنوان پارامتر کمکی یا جایگزین آورده شده است که از رابطه شماره ۱ قابل تبدیل به مدول E' است. وارد کردن مقداری برای مدول G باعث تغییر در مقدار E طبق رابطه شماره ۱ خواهد شد. به عبارت دیگر، در صورت وارد کردن مقدار برای هر دو پارامتر، مقدار E' در برنامه با استفاده از مقدار G محاسبه خواهد شد [۱۰]. باید توجه داشت که بین مدول الاستیسیته برش G در حالت مؤثر و زهکشی نشده فرقی وجود ندارد. این موضوع را به سادگی می توان با این واقعیت بیان کرد که آب نمی تواند

۲- روش های برآورد مدول برش

نسخه سوم بسته نرم افزاری Plaxis بر اساس مدل موهر-کولمب پایه گذاری شده و روش محاسبات در این نسخه بر مبنای تحلیل تنش مؤثر^۱ است و حتی در صورت استفاده از روش تحلیل تنش کل^۲ یا حالت زهکشی نشده، از پارامترهای مربوط به تنش مؤثر در ورودی برنامه باید استفاده شود [۲]. به همین دلیل در این نسخه به جای مدول الاستیسیته E از مدول برش G استفاده شده است. در نسخه های جدید، به دلیل ضمیمه شدن مدل های دیگر به آن، اطلاعات ورودی برای هر یک از دو مدول اختیاری است [۱۰]. این دو پارامتر با رابطه زیر با یکدیگر ارتباط پیدا می کنند که در آن ν نسبت پواسون است:

۲- آزمایش فشار سنجی منارد

این آزمایش که مدول برش را مستقیماً به دست می‌دهد در نقاط P_4, P_3 و در یک نقطه واقع در ۶۰ متری پنجه سیل بند اجرا و مقادیر به دست آمده در اعماق مختلف برای نقطه P_4 در جدول شماره ۱ درج شده است.

۳- آزمایش برش پره

نتایج آزمایش برش پره در دو حالت دست نخورده و دست خورده در نقطه P_3 به دست آمده است [۵]. با این آزمایش مقدار C_u تعیین و پس از اعمال تصحیحات لازم و استفاده از رابطه شماره ۲ مقدار مدول برش به دست می‌آید.

۴- آزمایش سه محوری

در این روش ابتدا مقادیر ϕ' و C' از نتایج آزمایش سه محوری تعیین و سپس با استفاده از رابطه شماره ۴، برای هر لایه مقادیر مقاومت برشی که برابر C_u است تعیین می‌شود که پس از آن مقادیر G از رابطه شماره ۳ قابل محاسبه است [۳].

$$\tau = C' \cos \phi' + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) \sin \phi' = C_u \quad (4)$$

در این رابطه، ϕ' و C' به ترتیب زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی در حالت مؤثر، σ'_1 و σ'_3 تنش‌های اصلی مؤثر در آزمایش سه محوری هستند.

تنش برشی را تحمل کند بنابراین کل مقاومت برشی خاک ناشی از اسکلت آن است. به همین دلیل مدول برش الاستیسیته G بدون هیچگونه علامت بالا نویسی نشان داده می‌شود [۱۴].

مدول‌های الاستیسیته و برش E و G بستگی به سطح تنش دارند ولی در محاسبات با مدل مورد نظر برای هر لایه خاک فقط یک مقدار متوسط باید انتخاب شود. در نسخه جدید Plaxis امکان افزایش مقدار این دو مدول با افزایش تنش وجود دارد.

برای تعیین مدول برش با توجه به آزمایش‌های مختلف اجرا شده در این تحقیق روش‌های متفاوتی به کار گرفته شده است که در زیر به آنها اشاره می‌شود:

۱- آزمایش انبساط سنجی

این آزمایش در نقطه P_4 (شکل شماره ۱) اجرا شده است و مدول E و C_u (چسبندگی یا مقاومت برشی در حالت زهکشی نشده) با توجه اندازه‌گیری‌ها برای هر لایه به دست آمده است. مدول برش با استفاده از این دو پارامتر و به کارگیری رابطه‌های شماره ۲ و ۳ به دست آمده از طریق ایجاد همبستگی بین G/C_u و PI و ارائه شده از طریق Foott & Ladd، قابل محاسبه است [۱۲].

$$G = 50 C_u / PI \quad (3)$$

نتایج محاسبات در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

۵- آزمایش تحکیم

[۶] و در سایر کشورها نیز با کمی تغییر اعداد دیگری توصیه شده است [۷].

$$C_u = q_c / A \quad (۸)$$

۵- نتایج و بحث:

مقادیر محاسبه شده مدول برش به روش‌های مختلف، در جدول شماره ۱ ارائه شده است. چنان که مشاهده می‌شود، روش‌های مختلف ارقام متفاوتی برای هر لایه به دست داده است که بعضی از آنها نامعقول به نظر می‌رسند، لذا به کارگیری آنها در مدل به عنوان پارامتر طراحی خالی از اشکال نخواهد بود. هنوز در آیین نامه‌ها ضرابی برای به کارگیری نتایج آزمایش‌های خاک، مانند آنچه EuroCode 7 پیشنهاد می‌کند، ارائه نشده است، لذا با توجه به تجربیاتی که در منطقه مورد آزمایش از مشخصات لایه‌های مختلف وجود داشت ابتدا با استفاده از قضاوت مهندسی این‌گونه ارقام کنار گذاشته شد. (این ارقام در جدول شماره ۱ با ستاره نشان داده شده‌اند)، سپس مقدار متوسط مدول برش و انحراف معیار برای هر یک از لایه‌ها محاسبه و با استفاده از توزیع نرمال و با احتمال وقوع ۳۳ درصد با توجه به سطح عدم اطمینان در آزمایش‌ها و روش‌های برآورد مدول برش، مقدار مشخصه‌ای برای هر یک از لایه‌ها محاسبه شد. لازم است گفته شود که به علت پراکندگی داده‌ها، محاسبه مقادیر مشخصه با احتمال ۵ درصد که آیین نامه‌های مختلف پیشنهاد می‌کنند منجر به ارقام بسیار کوچک می‌شود.

در این آزمایش مقادیر شاخص فشردگی اولیه^۱ C_p و شاخص فشردگی ثانویه^۲ C_s و سپس شاخص فشردگی خاک^۳ C از رابطه ۴ به دست می‌آید که از روی آن مقدار مدول الاستیسیته E از رابطه شماره ۶ به دست آمده و سپس مدول برش از رابطه شماره ۲ قابل محاسبه است [۵].

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} \log 7} \quad (۵)$$

$$E = C \cdot \sigma' \quad (۶)$$

۶- آزمایش حدود اتبرگ

بین مقاومت برشی زهکشی نشده C_u و شاخص خمیری خاک‌ها Bjerrum and Simons یک رابطه همبستگی را برای $PI > 10$ ارائه داده است که در آن σ'_v تنش مؤثر موجود در نقطه نمونه برداری است [۴]. با مشخص شدن این پارامتر مقدار مدول برش از رابطه شماره ۲ به دست می‌آید.

$$C_u = \sigma'_v (0.11 + 0.0037 PI) \quad (۷)$$

۷- آزمایش نفوذ مخروط

بین نتایج آزمایش نفوذ مخروط q_c و سایر پارامترهای خاک رابطه همبستگی وجود دارد. برای نمونه، مقدار C_u از رابطه ساده ۸ به دست می‌آید که در آن مقدار $A = 15$ در هلند استفاده می‌شود

جدول شماره ۱- مقادیر مدول برش برای لایه های مختلف خاک به روش های مختلف و مقدار مشخصه هر لایه

عمق (متر)	نوع خاک و طبقه بندی USCS	مقادیر مدول برش (کیلو نیوتن بر متر مربع)								انقباض سنجی C_u	فشار سنجی E	برش پره دست نخورده	سه محوری	تحکیم نفوذ مخروط	شاخص خمیری	متوسط G	انحراف معیار	مقدار مشخصه
۲-۱	خاک رس (CH)	۴۱۱	۸۹۶*	۲۱۳	۳۱۷۵*	۱۰۰۳*	۵۷۸	۶۹۰	۶۸۰	۲۹۰	۴۷۷	۱۸۵	۴۰۰					
۵-۲	خاک آلی (pt)	۲۶۵	۲۰۲	۱۸۵	۶۰۰*	۲۳۵	۳۷۰	۸۵	۴۶۵	۴۰۰	۳۰۳	۱۰۰	۲۶۰					
۶-۵	خاک رس (CH)	۴۹۳	۴۵۸	۱۴۳*	۱۲۳۶*	۳۶۰	۶۶۰	۱۵۰	۶۸۰	۳۳۰	۴۴۷	۱۷۴	۳۷۰					
۹-۶	خاک آلی (pt)	۲۷۷	۱۲۰*	۱۵۰*	۶۹۰*	۲۴۰	۴۹۵	۱۸۰	۶۶۵	۴۰۰	۳۴۳	۱۷۳	۲۷۰					
۹-۹	ماسه (Sc)	۴۱۰۵	۳۷۹۷	---	---	---	۳۳۰۰	۵۶۰*	۱۶۰۰۰*	۱۳۰۰	۳۱۲۵	۱۰۹۲	۲۶۵۰					

برای انتخاب مقادیر طراحی و ارزیابی صحت و سقم مقادیر مشخصه، روش ابتکاری کالیبراسیون تنش ها و کرنش ها به کار گرفته شد. به همین منظور مقادیر مشخصه مدول برش که در جدول شماره ۱ آورده شده است یک بار به مدل Plaxis داده شد و نتایج به دست آمده برای تنش ها و کرنش ها، با آنچه در محل اندازه گیری شده بود مقایسه گردید که اختلاف فاحشی مشاهده شد. این اختلاف ناشی از پایین بودن ارقام مقادیر مشخصه بود. برای اینکه ارقام محاسباتی تنش ها و کرنش ها برابر یا نزدیک به مقادیر اندازه گیری شده در محل باشد، مقادیر

مختلفی برای مدول برش انتخاب و محاسبات تنش و کرنش بر اساس آنها در مدل اجرا شد که نهایتاً پس از چندین بار سعی و خطا ارقام واقعی مدول برش از دو روش کالیبراسیون به دست آمد. مقادیر اندازه گیری شده K_0 (نسبت تنش جانبی به تنش قائم) و مقدار محاسبه شده آن با مقادیر مدول برش که از کالیبراسیون تنش ها به دست آمده است (مقدار واقعی G) در جدول شماره ۲ و تغییر مکان های اندازه گیری شده محلی و مقادیر محاسبه شده آن با مقادیر مدول برش حاصل از کالیبراسیون کرنش ها در جدول شماره ۳ آورده شده است [۹].

جدول شماره ۲- مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده K_0 با مقادیر واقعی مدول برش						
عمق (متر)	نوع خاک طبقه بندی USCS	مقدار مشخصه G (کیلونیوتن بر متر مربع)	مقدار K_0 محاسبه شده با مقدار مشخصه	مقدار K_0 اندازه گیری شده	مقدار K_0 کالیبره شده	مقدار واقعی G کالیبره شده
۲-۱	خاک رس (CH)	۴۰۰	۰/۹۸	۱/۱۳	۱/۱۳	۴۳۰
۵-۲	خاک آلی (pt)	۲۶۰	۰/۴۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۳۹۰
۶-۵	خاک رس (CH)	۳۷۰	۰/۷۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۴۵۰
۹-۶	خاک آلی (pt)	۲۷۰	۰/۳۸	۰/۸۴	۰/۸۵	۵۶۰
۹-۹	ماسه (Sc)	۲۶۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۲۶۵۰

جدول شماره ۳- مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده تغییر شکل ها با مقادیر واقعی مدول برش						
عمق (متر)	نوع خاک طبقه بندی USCS	مقدار مشخصه G (کیلونیوتن بر متر مربع)	مقدار تغییر شکل محاسبه شده با مقدار مشخصه (میلی متر)	مقدار تغییر شکل اندازه گیری شده (میلی متر)	مقدار تغییر شکل کالیبره شده (میلی متر)	مقدار واقعی (کیلونیوتن بر متر مربع)
۱/۰	خاک رس (CH)	۴۰۰	۱۴	۲/۶	۳/۰	۵۲۰
۲/۵	خاک آلی (pt)	۲۶۰	۱۷	۴/۴	۴/۰	۳۵۰
۴/۰	خاک آلی (pt)	۲۶۰	۲۱	۴/۶	۵/۰	۳۵۰
۵/۵	خاک رس (CH)	۳۷۰	۲۶	۴/۲	۴/۵	۴۹۰
۷/۰	خاک آلی (pt)	۲۷۰	۲۹	۱/۴	۴/۰	۵۶۰
۸/۵	خاک آلی (pt)	۲۷۰	۳۳	۴/۷	۴/۰	۵۶۰

- چنانکه مشاهده می شود، مدول برش الاستیسیته خاک از روش های مختلف قابل محاسبه است ولی اختلاف زیاد در مقادیر به دست آمده مانع از به کارگیری هر یک از آنها بدون بررسی است. برای ارزیابی این مسئله به شرح زیر عمل گردید:
- حذف مقادیر خیلی بزرگ و خیلی کوچک بر اساس تجربه و قضاوت مهندسی،
 - تعیین مقدار متوسط مقادیر مربوط به هر لایه،
 - محاسبه انحراف معیار و مقدار مشخصه مربوط به هر لایه با استفاده از توزیع نرمال،
 - استفاده از مقادیر مشخصه در مدل و مقایسه نتایج با تنش ها و کرنش های اندازه گیری شده در محل،
 - انتخاب مقادیر مناسب برای هر لایه با روش کالیبراسیون تنش ها و کرنش ها.
- مقادیر به دست آمده از کالیبراسیون از دو

مختلف با مقادیر حاصل از کالیبراسیون می توان نتیجه گرفت که در مجموع استفاده از نتایج آزمایش سه محوری برای محاسبه مدول برش قابل اعتمادتر است و پیشنهاد می شود که آزمایش به صورت Cyclic نیز اجرا شود.

- از میان روش های مختلف، مقادیر نتایج آزمایش های انحراف سنجی، فشارسنجی، برش پره ای در حالت دست خورده، تحکیم و شاخص الاستیسیته پایین است و آزمایش برش پره ای در حالت دست نخورده و نفوذ مخروط نتایج بالایی را به دست داده اند.

- یکی از علل عدم تطابق نتایج روش های مختلف با مشخصات واقعی لایه های خاک استفاده از روابط مربوط به بعضی از خاک های خاص است.

- چون لایه های خاک همگن نیستند و عدسی هایی از انواع دیگر خاک ها در بین آنها یافت می شود و اجرای همه آزمایش ها و نمونه برداری ها در یک نقطه خاص امکان پذیر نیست، وجود اختلاف تا حدودی در نتیجه آزمایش ها طبیعی است.

- دلیل حذف بعضی از نتایج آزمایش ها، عدم امکان چنین مشخصه ای در آن نوع خاک با توجه به تجربیات موجود و سایر مشخصات خاک بوده است.

روش، با اندک تفاوتی که ناشی از اختلاف محل اندازه گیری های تنش ها و کرنش ها در عمق و موقعیت است، نزدیک به هم بوده می توان مقدار متوسطی را برای هر یک از لایه ها محاسبه و در مدل از آن استفاده کرد [۸].

۷- نتیجه گیری:

براساس مجموعه نتایج به دست آمده از این تحقیق می توان موارد زیر را عنوان کرد.

- در محاسبات با نرم افزار Plaxis با مدل موهر-کولمب در سازه های خاکی، مدول برش الاستیسیته نقش تعیین کننده ای در نتایج تنش ها و کرنش ها دارد و لازم است در برآورد آن دقت لازم و کافی شود.

- اکتفا کردن به یک نوع آزمایش و یا روش برآورد ممکن است همراه با خطای بزرگ باشد و لذا لازم است از روش های کنترلی مانند کالیبراسیون تنش ها و کرنش ها بهره جست.

- محاسبات مدل نشان داد مقادیر مشخصه که از روش آماری به دست آمدند صرفاً نقش راهنمایی برای نزدیک شدن به مقادیر واقعی مدول برش دارد و از آنها نمی توان در محاسبات طراحی استفاده کرد.

- از مقایسه مقادیر به دست آمده از روش های

۸- مراجع:

- 1- Baalen, M. V. 1988. Prediction of the stability and deformation of embankments under uplift conditions. Delft geotechnics.
- 2-Bonnier, P. G. 1991. Total stress analysis & effective stress analysis. Computational geomechanics Plaxis II Course. Delft.

- 3- Bowles, J. E. 1979. Physical and geotechnical properties of soils. McGraw-Hill Inc.
- 4- Bowles, J. E. 1982. Foundation analysis and design, McGraw-Hill Inc.
- 5- CIRIA Report, No. 63. 1977. Rationalisation of safety and serviceability factors in structural codes. Construction industry research and information, London.
- 6-Deutekom, J. R. 1990. Bergambacht lekdijk-oost proefvak taw. Grondmechanica. Delft (in Dutch).
- 7- European Communities. 1987. Draft model for Euro Code 7, Common unified rules for geotechnics design.
- 8- Heynen, Field testing of soils. Lecture notes, IHE, Delft.
- 9- Jafari Bari, M. 1991. Stabilization of river dikes under uplift conditions. M. Sc. Thesis. IHE Delft.
- 10- Plaxis, B. V. 2002. Plaxis version 8, material model manual.
- 11-Termaat, R. J., Vergeer, G. J. H. and Vermeer, P. A. 1985. Failure by large deformations. 11th Int. Conf. Soil Mech. And Found. Eng.
- 12- USBR. 1986. Earth manual. U. S. department of the interior bureau of reclamation.
- 13- Vermeer, P. A. 1990. Plaxis user manual. Balkema. Rotterdam.
- 14- Vermeer, P. A. 2000. Column Vermeer. Plaxis Bulletin. Issue 9.
- 15- Winterkorn H. F., Fang H. Y. 1975. Foundation engineering handbook. VNR company.

Determination of Shear Modulus of Elasticity of Soils for Application in Plaxis Model

M. Jafari Bary

One of the important parameters of soil properties for application in the Plaxis, to analyse the behavior of earth structures and their failure mechanisms, is shear modulus of elasticity. An intensive geotechnical survey, field and laboratory tests were executed to estimate the values of this parameter and other soil properties in the body of dike and polder. To determine this parameter, 9 different methods were used. Because of large differences among the given values, characteristic values for each layer of soil, were calculated by using a statistical procedure. Then, calibration of stresses and strains were used to verify the characteristic values and appropriate soil test. Both of the calibrations resulted in values more than characteristic values of shear modulus which were close together. The comparison of results of calibrations with foregoing methods showed that the characteristic values were not reliable because of the shortage of data and utilization of triaxial test to determine the shear modulus was better than others.

Key words: Calibration of Stresses and Strains, Characteristic Values, Design Values, Plaxis, Shear Modulus of Elasticity.

بررسی اثر دور توپی و سطح مقطع خروجی در ماشین سفیدکن تیغه‌ای، بر روی

میزان شکستگی برنج^۱

شعبان قوامی، علیمحمد برقی و احمد طباطبایی^۲

۱- چکیده:

ضایعات تبدیل شالی از معضلات کارخانه‌های برنج‌کوبی کشور است. کاربرد غیر علمی ماشین‌های تبدیل، از جمله سفیدکن، از مهمترین عوامل مؤثر در میزان شکستگی برنج و ایجاد ضایعات کیفی است. هدف از این پژوهش، تعیین اثر دور توپی و سطح مقطع خروجی به عنوان پارامترهای عملکردی دستگاه سفیدکن تیغه‌ای بر میزان شکست برنج رقم دانه بلند خزر است. دستگاه سفیدکن تیغه‌ای در کلیه کارخانه‌های برنج‌کوبی کشور رواج دارد و برنج دانه بلند خرد در استان‌های شمالی کشور متداول است. این پژوهش همچنین به منظور بهینه کردن و اصلاح سیستم موجود جهت کاهش ضایعات در مرحله سفیدکنی برنج قهوه‌ای انجام شده است. در این تحقیق پارامتر دور توپی در شش سطح: ۶۵۰، ۷۰۰، ۷۵۰، ۸۰۰، ۸۵۰ و ۹۰۰ دور در دقیقه و سطح مقطع خروجی دستگاه در پنج سطح: ۶۱۵، ۶۶۰، ۷۰۵، ۷۵۰ و ۷۹۵ میلی‌متر مربع در نظر گرفته شد و جمعاً ۳۰ تیمار به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار آزمایش و میزان شکستگی برنج اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که افزایش دور توپی از ۶۵۰ تا ۹۰۰ دور در دقیقه باعث افزایش شکستگی دانه برنج می‌شود. همچنین مشخص شد که سطح مقطع خروجی مهمترین عامل تأثیرگذار بر شکستگی برنج است و با افزایش آن میزان برنج شکسته شده کاهش پیدا می‌کند. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد که بیشترین درصد شکستگی (۳۵/۶۹ درصد) مربوط به ترکیب دو پارامتر دور ۹۰۰ دور در دقیقه و سطح مقطع با ۶۱۵ میلی‌متر مربع و کمترین درصد شکستگی (۷/۱۲ درصد) مربوط به ترکیب دو پارامتر دور با ۸۰۰ دور در دقیقه و سطح مقطع با ۷۰۵ میلی‌متر مربع است.

۲- واژه‌های کلیدی:

برنج سفید، دور توپی، سطح مقطع خروجی، سفیدکن تیغه‌ای

۱- برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد.

۲- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، کرج - خیابان دانشکده، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تلفن: ۰۲۶۱-۲۸۰۱۰۱۱. استاد و دانشیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۳- مقدمه:

برنج ماده غذایی بسیار ارزشمندی است، نقش حساسی در تغذیه مردم جهان به عهده دارد، و پس از گندم اصلی ترین غذای مردم کشور ایران را تشکیل می دهد. برنج پس از گندم بیشترین سطح اراضی کشاورزی را در جهان به خود اختصاص داده است. با توجه به افزایش روز افزون جمعیت و محدودیت در افزایش اراضی زیر کشت برنج در سطح کشور در سال های اخیر، کاهش ضایعات در عملیات فراوری برنج اهمیت ویژه ای دارد و رعایت آن ضروری به نظر می رسد. آنچه در روند تولید برنج نقش اساسی دارد و از نظر کاهش ضایعات نیز دارای اهمیت است، فرایند تبدیل شلتوک به برنج سفید است. این فرایند شامل کلیه عملیاتی است که روی برنج از مرحله خشک کردن تا مرحله درجه بندی آن انجام می گیرد. در هر یک از مراحل فوق، آسیب هایی بر برنج وارد می شود، که البته بیشتر از جنبه کیفی دارای اهمیت است. نوع دستگاه تبدیل یکی از عوامل مؤثر در میزان خرد شدن برنج است و از آنجایی که عملیات پوست کنی و سفید کنی برنج در فرایند تبدیل، مکانیکی است و پیچیدگی بیشتری دارد، بخش اعظم ضایعات در این مرحله مشاهده می شود. در بررسی کیفیت کار ماشین های سفیدکن، توجه به این نکته بسیار مهم است که محصول خروجی ماشین باید کمترین مقدار برنج شکسته شده را داشته باشد که در این حالت، ماشین سفیدکن در بهترین شرایط کاری خود است. علاوه بر نوع دستگاه، رقم شلتوک نیز در میزان ضایعات مؤثر است. به نحوی که با یکسان بودن سایر شرایط می توان ضایعات متفاوتی برای

ارقام مختلف پیش بینی کرد. براساس آخرین آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت انواع مختلف شلتوک در کشور حدود ۵۳۴ هزار هکتار برآورد شده است که سالانه حدود ۱/۹۷ میلیون تن شلتوک از آن برداشت می شود [۱]. با توجه به کسر ضایعات کمی تا مرحله تبدیل به میزان ۱/۱ درصد و نیز با در نظر گرفتن ضریب تبدیل ۶۷ درصد، سالانه تقریباً ۱/۱۳۸۱۵۳۰ تن برنج سفید تولید می شود [۲]. با در نظر گرفتن درصد شکستگی برنج در استان گیلان (حدود ۲۱ درصد) [۲]، هر سال تقریباً ۲۷۴۱۳۰ تن برنج شکسته خواهیم داشت که باید به آن توجه کرد. عملیات سفیدکنی روی برنج قهوه ای پس از پوست کنی شلتوک، یکی از مراحل تبدیل است که طی آن درصدی از دانه ها دچار شکستگی و نیز موجب ضایعات کیفی در برنج می شود. در قدیم به منظور تبدیل شلتوک به برنج سفید از وسیله ای به نام پادنگ استفاده می شد [۱۱]. امروزه سفیدکن های برنج در دسترس هستند که بر اساس نحوه سفید کردنشان به دو نوع سایشی^۱ و اصطکاکی^۲ تقسیم می شوند. در نوع سایشی، برنج در اثر مالش و سایش بین یک صفحه مخروطی با پوشش زبر و یک صفحه مشبک سفید می شود. این سفیدکن ها در دو نوع عمودی و افقی وجود دارند. در سفیدکن های سایشی عمودی برنج قهوه ای از بالا وارد دستگاه می شود و از محیط مخروطی ناقص به سمت پایین حرکت می کند و در بین مسیر در اثر تماس با جداره خارجی و مشبک دستگاه، لایه سبوس آن جدا می شود. نوع سفیدکن سایشی افقی معمولاً جمع و جورتر از نوع عمودی است. این

دستگاه یک غلتک سایشی افقی دارد که روی محوری توخالی سوار است. غلتک در داخل سیلندری مشبک با فاصله کمی از آن گردش می‌کند و در اثر تماس دانه با جداره و سیلندر، سبوس آن جدا می‌شود [۱۰]. در سفیدکن اصطکاکی، برنج تحت فشار زیاد و سرعت کم حرکت می‌کند و در نتیجه در اثر نیروی اصطکاک ایجاد شده بین دانه‌های برنج یا سطوح داخلی سفیدکن، سفید کردن انجام می‌شود. اثر اصطکاک باعث می‌شود که لایه سبوس برنج جدا و از صفحه مشبک محفظه خارج شود. در این نوع سفیدکن‌ها، به علت فشار بالای ایجاد شده می‌توان علاوه بر سفید کردن، پوست‌گیری شلتوک‌هایی را نیز انجام داد که هنوز پوست آنها گرفته نشده است و وارد سفیدکن شده‌اند. یکی از انواع سفیدکن‌های متداول اصطکاکی، سفیدکن تیغه‌ای است. در این نوع سفیدکن، برنج در اثر تماس بین همزن و تیغه دستگاه، تحت فشار سفید می‌شود [۱۲]. در برخی از نقاط جهان به جای استفاده از پوست کن، از سفیدکن اصطکاکی (تیغه‌ای) استفاده می‌شود. در این حالت در اثر افزایش فشار بر برنج، درصد ضایعات تا چندین برابر افزایش می‌یابد [۹]. در کشور ایران، در اکثر برنجکوبی‌ها از سفیدکن اصطکاکی نوع تیغه‌ای استفاده می‌شود. برنج قهوه‌ای حاصل از دستگاه پوست کن که دارای مقداری شلتوک (حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد) است مستقیماً وارد دستگاه سفیدکن می‌شود. به منظور جدا کردن پوست شلتوک و سفید شدن بیشتر دانه‌های برنج، عموماً در خط تبدیل از چندین سفیدکن به طور سری استفاده می‌شود که در سفیدکن اول

حداکثر فشار و در سفیدکن آخر حداقل فشار بر برنج وارد می‌شود [۴]. هریک از مراحل تبدیل، آثار ناخواسته بروز ترک و شکست دانه برنج را همراه دارد. لذا مطالعه پارامترهای مؤثر در هر یک از دستگاه‌هایی که روی برنج عمل می‌کند می‌تواند نقش مهمی در کاهش ترک‌ها و شکست دانه و در نهایت در کیفیت و قیمت برنج داشته باشد. از طرفی، شکست دانه ضایعه‌ای کیفی است، دانه برنج به دو یا چند تکه تبدیل می‌شود و از این رو از لحاظ پخت، بازارپسندی، و قیمت دچار افت می‌شود و زیان اقتصادی فراوانی نیز به همراه دارد. با توجه به میزان ضایعات ناشی از شکست برنج و زیان اقتصادی حاصل از آن، تلاش برای کاهش ضایعات و جلوگیری از افت قیمت برنج توجیه‌پذیر است و ارزش اقتصادی بالایی دارد. تحقیقات انجام شده در این زمینه بیشتر مربوط به کل فرایند تبدیل بوده است. در تحقیقاتی که ویمبرلی (Wimberly, 1983) انجام داد، سه روش تبدیل برنج مقایسه شدند. این روش‌ها عبارت بودند از: (۱) سیستم متشکل از پوست کن غلتک لاستیکی به همراه سفیدکن سایشی و تیغه‌ای (۲) سیستم متشکل از پوست کن صفحه‌ای جریان از زیر و سفیدکن تیغه‌ای (۳) سیستم متشکل از سفیدکن تیغه‌ای به منظور پوست‌کنی و سفیدکنی برنج. نتایج این تحقیق نشان داد که سیستم اول نسبت به سیستم دوم ۲/۵ درصد و نسبت به سیستم سوم ۶/۶ درصد در راندمان کل تبدیل، افزایش دیده می‌شود. بر اساس تحقیقات ایندسوامی (Enduswamy, 1979) راندمان سفیدکن‌های تیغه‌ای در هند ۶۲ تا ۶۴ درصد، شکستگی برنج ۲۵ تا ۳۰ درصد، و راندمان برنج

شامل پوست کن با پادیه و سفیدکن سایشی است، ترکیب مناسب تری است و برنج خروجی به علت استفاده از سفیدکن تیغه ای و سفیدتر شدن دانه برنج بازار پسندی بهتری دارد. یکی از علل بالا بودن درصد شکستگی برنج در مرحله تبدیل، وجود ماشین ها و تجهیزات فرسوده در کارخانه های برنجکوبی است.

خوش تقاضا و همکاران (۱۳۸۰) در تحقیقاتی، پس از طراحی و ساخت دستگاه سفیدکن آزمایشگاهی از نوع اصطکاکی، اثر پارامترهای مقدار برنج ورودی، ترکیب تیغه، و فاصله تیغه از همزن را بر درصد سفیدشدگی و درصد شکستگی برنج، رقم سازندگی لاین ۲۱۳ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییرات ترکیب تیغه، فاصله تیغه، و مقدار برنج ورودی با احتمال ۹۹ درصد بر درصد سفیدشدگی و شکستگی برنج اختلافی معنی دار ایجاد می کند. همچنین نتیجه گرفتند که با توجه به شاخص سفیدشدگی برنج، بهترین حالت کاری دستگاه، ۲۵۰ کیلوگرم در ساعت برنج ورودی با تیغه چپ و به فاصله ۵ میلی متر از همزن و بدترین حالت کاری دستگاه ۱۵۰ کیلوگرم در ساعت برنج ورودی و تیغه راست با فاصله ۱۵ میلی متر است.

با توجه به اهمیت کاهش ضایعات برنج در مرحله تبدیل و از جمله در قسمت سفیدکردن، اهداف اصلی این تحقیق را می توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- ۱- بررسی اثر دور توپی در دستگاه سفیدکن تیغه ای، بر خرد شدن برنج رقم خزر،
- ۲- بررسی اثر سطح مقطع خروجی سفیدکن بر میزان برنج خرد شده،

سفید سالم ۵۰ درصد است. آراو (Araullo, 1976) روی سه روش تبدیل برنج مطالعاتی انجام داد. وی در این مطالعات اثر استفاده از سفیدکن تیغه ای به عنوان پوست کن و سفیدکن، پوست کن صفحه ای جریان از زیر و پوست کن غلتک لاستیکی را ارزیابی کرد و چنین نتیجه گرفت که راندمان کل تبدیل (مقدار برنج سفید شده نسبت به نمونه شلتوک اولیه) در سفیدکن تیغه ای ۶۳ درصد، در پوست کن صفحه ای جریان از زیر ۶۷ درصد، و درصد پوست کن غلتک لاستیکی ۷۰ درصد است.

بر اساس تحقیقات پیمان (۱۳۷۸)، مناسب ترین فاصله بین غلتک ها در پوست کن غلتک لاستیکی برای رقم خزر ۰/۴۵ تا ۰/۶۵ میلی متر است. شاکر و همکاران (۱۳۸۱) در مقایسه ترکیبات مختلف دستگاه های تبدیل برنج در شهرستان مرودشت دریافتند که اولاً استفاده از سفیدکن تیغه ای به جای پوست کن به هیچ وجه پذیرفته نیست و باید از کاربرد آن در کارخانه های برنجکوبی کشور جلوگیری شود و ثانیاً استفاده از سه واحد سفیدکن سایشی به صورت سری همراه با سفیدکن تیغه ای مکمل، مناسب ترین ترکیب جهت تبدیل برنج در کارخانه های برنجکوبی کشور است.

شاکر و همکاران (۱۳۷۷) در تحقیقاتی دیگر ضایعات تبدیل برنج در کارخانه های برنجکوبی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از سفیدکن سایشی به تنهایی به عنوان سفیدکننده مناسب نیست و برنج خروجی از آن به دلیل کمتر سفید شدن بازار پسندی ندارد. خط تبدیل مورد استفاده در کارگاه شامل: پوست کن با پادیه، سفیدکن سایشی، و سفیدکن تیغه ای، در مقایسه با حالتی که خط تبدیل

۳- بررسی اثر متقابل عوامل فوق و توصیه دور و سطح مقطع مناسب برای ماشین سفیدکن برنج به منظور کاهش ضایعات.

۴- مواد و روش‌ها:

آزمایش‌ها در یک سیستم تبدیل کارخانه‌ای (واقعی) که کاملاً با سیستم تبدیل رایج در سطح کشور مطابقت داشت انجام گرفت. از شلتوک رقم خزر، به دلیل دانه بلند بودن و حساس بودن نسبت به شکست در مرحله سفیدکنی و همچنین کشت رایج آن در منطقه شمال، استفاده شد. نمونه‌ها از بین شالی‌های تولید شده در سال ۱۳۸۰ از مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) انتخاب گردید. ابتدا شلتوک تمیز و سعی شد تا ناخالصی‌های آن تا حد امکان جدا و محصول تقریباً یک‌دستی

آزمایش شود. پیش از خشک کردن، مشخصات ظاهری دانه برنج رقم خزر اعم از طول، عرض، ضخامت، ضریب رعنائی^۱، و وزن هزار دانه تعیین شد (جدول شماره ۱). (نسبت طول دانه به ضخامت آن را ضریب رعنائی می‌نامند و اگر طول دانه بزرگتر از ۶/۶ میلی‌متر و ضریب رعنائی بزرگتر از ۳ باشد، برنج از نوع دانه بلند^۲ در نظر گرفته می‌شود). جهت تعیین ضریب رعنائی از دانه‌های شلتوک به طور تصادفی نمونه‌گیری و پس از تعیین نسبت طول به ضخامت دانه‌ها، میانگین آنها نوشته شد.

سپس درصد ترک و سایر مشخصات آن در رطوبت‌های ۱۶/۴ تا ۱۰/۵ درصد (بر پایه تر) در حین خشک کردن اندازه‌گیری شد (جدول شماره ۲).

جدول شماره ۱- میانگین مشخصات ظاهری دانه برنج رقم خزر (قبل از تبدیل)

طول (میلی‌متر)	عرض (میلی‌متر)	ضخامت (میلی‌متر)	ضریب رعنائی (R)	وزن هزار دانه (گرم)
۱۰/۴	۲/۵	۲/۱	۵	۲۳/۲

جدول شماره ۲- مشخصات ظاهری و درصد برنج شکسته، ترکدار، و سالم رقم خزر در رطوبت‌های مختلف

رطوبت (بر مبنای وزن مطلوب)	شکسته (درصد)	ترکدار (درصد)	شکم سفید (درصد)	قرمز (درصد)	نارس (درصد)	سالم (درصد)
۱۶/۴*	۲	۹	۲	۰	۲	۸۵
۱۲/۵	۳	۱۲	۳	۰	۳	۷۹
۱۱/۵	۴	۱۳	۳	۱	۳	۷۶
۱۰/۵	۴	۱۵	۴	۱	۱	۷۵

* درصد رطوبت قبل از خشک کردن شلتوک

1- Mean Ratio of Large to Small Diameters of Individual Fruit

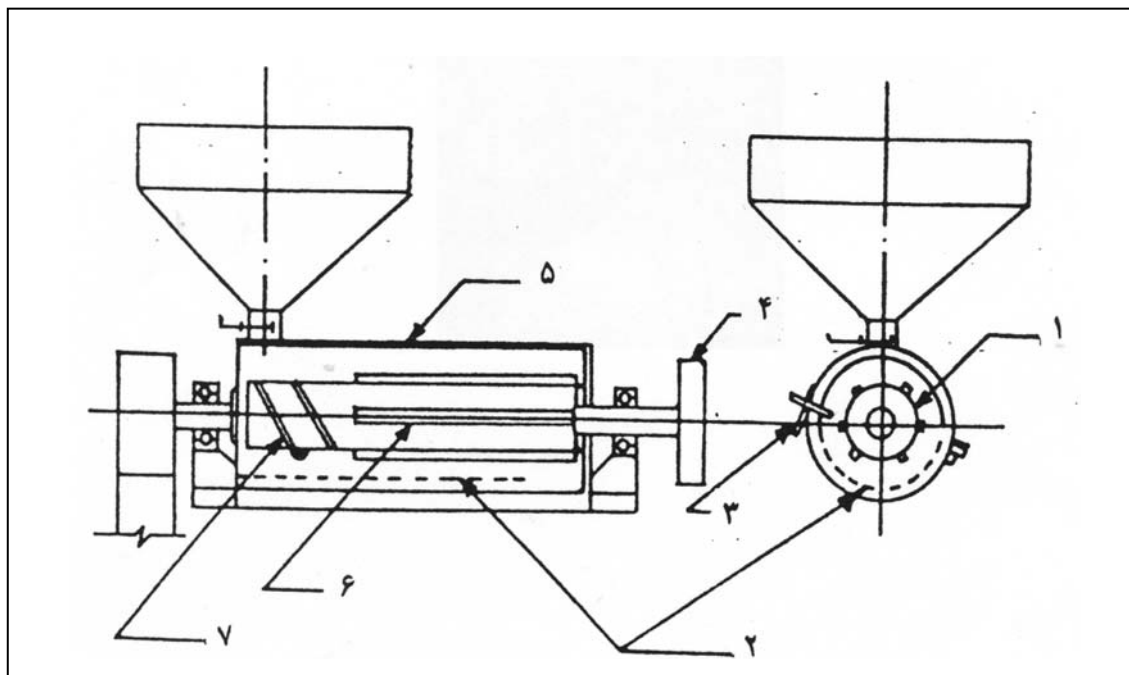
2- Long Grain

خزر، از سفیدکن تیغه‌ای واقع در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) استفاده گردید. (این سفیدکن با مارک Engelberg (مدل انگلیسی) وارد ایران شد و هم اکنون با مارک‌های مختلفی نظیر حسن منصور^۱ تولید و در کارخانه‌های برنجکوبی کشور استفاده می‌شود). قسمت‌های مختلف این دستگاه در شکل شماره ۱ مشخص شده است. فاصله بین تیغه و توپی در مدت زمان آزمایش ثابت بود و در سمت ورودی 7 ± 1 میلی‌متر و در سمت خروجی 9 ± 1 میلی‌متر در نظر گرفته شد (به منظور ارزیابی دستگاه جهت انتخاب بهترین حالت کاری تیغه، از شاخص‌های شکستگی و سفیدشدگی برنج استفاده شد [۸].

فرایند سفیدکردن برنج قهوه‌ای در قالب طرح فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با پارامترهای دور توپی (در شش سطح: ۶۵۰، ۷۰۰، ۷۵۰، ۸۰۰، ۸۵۰ و ۹۰۰ دور در دقیقه)، و سطح مقطع خروجی (در پنج سطح: ۶۱۵، ۶۶۰، ۷۰۵، ۷۵۰ و ۷۹۵ میلی‌متر مربع) انجام گرفت. بنابراین، سفیدکردن محصول در کل با ۳۰ تیمار و هرتیمار در سه تکرار صورت گرفت. با توجه به طرح آزمایشی به کار گرفته شده، تغییر تصادفی پارامترها در یک تکرار روی دستگاه اعمال شد و آنگاه نمونه‌برداری انجام گرفت. از هر نمونه برنج سفید حاصل، ۲۰۰ گرم جدا و درصد دانه‌های خرد آن تعیین شد. با عنایت به نامناسب بودن توزیع برخی از داده‌ها، ابتدا روی آنها روش $Arc \sin \sqrt{x}$ تبدیل داده‌ها صورت گرفت و سپس داده‌های نرمال شده از طریق نرم افزار MSTATC تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت.

رطوبت شلتوک خزر در ابتدا $16/4$ درصد بود اما ضرورت داشت آزمایش‌ها در رطوبت $10-12$ درصد انجام گیرد از این رو با استفاده از خشک‌کن نوع افقی بستر ثابت، رطوبت شلتوک به $11/1$ درصد رسانده شد. دمای لازم برای خشک کردن نمونه‌ها بر اساس توصیه کارشناسان مؤسسه تحقیقات برنج 35 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد.

پوست‌کنی با ماشین پوست کن غلتک لاستیکی مدل ISEKI HC600 اجرا و فاصله بین دو غلتک $0/65$ میلی‌متر در نظر گرفته شد [۳]. در حین پوست‌کنی و در فواصل مختلف زمانی، از خروجی دستگاه نمونه‌های 500 گرمی گرفته شد که پس از تفکیک و میانگین‌گیری، درصد دانه‌های خرد، درصد دانه‌های پوست‌کنده نشده (شلتوک)، و درصد دانه‌های پوست‌کنده شده سالم (برنج قهوه‌ای) به دست آمد. لازم است گفته شود که جدا سازی این مخلوط با دقت و به صورت دستی انجام گرفت. برای تعیین درصد شلتوک ترک‌دار (قبل از پوست‌کنی) ناشی از تنش‌های محیطی و خشک کردن، از دستگاه ترک بین استفاده شد. برای این منظور، 100 دانه شلتوک انتخاب شد، با دست و با احتیاط، پوست آنها جدا گردید و روی دستگاه ترک‌بین قرار گرفت. با روشن شدن دستگاه و تابش نور از زیر، دانه‌های ترک‌دار مشخص و تعدادشان ثبت شد. این عمل سه بار تکرار شد و سپس با میانگین‌گیری درصد ترک دانه‌های مورد آزمایش به دست آمد. به منظور بررسی اثر دور توپی و سطح مقطع خروجی در دستگاه سفیدکن بر مقدار خرد شدن برنج رقم



شکل شماره ۱- قسمت‌های مختلف ماشین سفیدکن تیغه‌ای

شامل: ۱- توپی ۲- توری (سیتکا) ۳- تیغه ۴- چرخ لنگر ۵- محفظه توپی ۶- دندانه‌های راست ۷- دندانه‌های مارپیچ

۵- نتایج و بحث:

خروجی در مرحله سفیدکنی بر میزان شکست دانه برنج در جدول تجزیه واریانس (جدول شماره ۳) و نمودارهای شماره ۱، ۲، و ۳ ارائه شده است.

- اثر ساده پارامترها

برابر جدول شماره ۳، پارامتر دور توپی دستگاه سفیدکن به هنگام سفیدکنی برنج قهوه‌ای باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار بر درصد شکست دانه برنج در سطح ۱ درصد می‌شود. به عبارتی، افزایش دور توپی از ۶۵۰ تا ۹۰۰ دور در دقیقه باعث افزایش درصد خرد و کاهش راندمان می‌شود. در نتیجه، با افزایش بیش از حد دور توپی، مقدار برنج شکسته شده افزایش می‌یابد.

در بررسی تغییرات نمودار اثر ساده دور توپی بر میزان شکست برنج (نمودار شماره ۱) نیز می‌توان

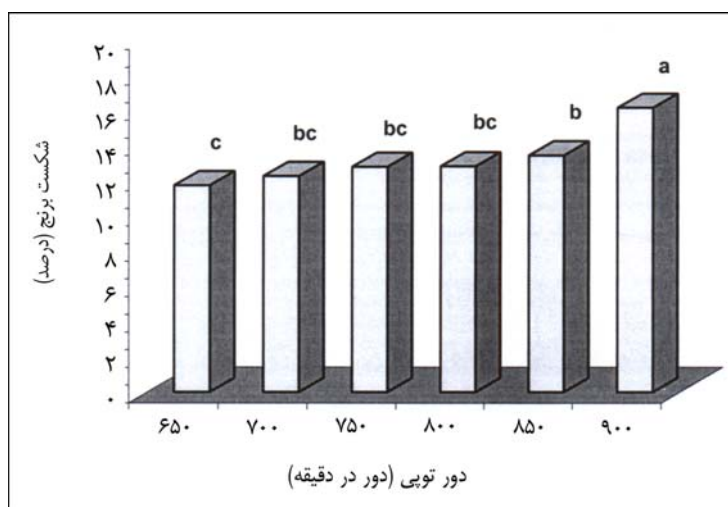
با عنایت به جدول شماره ۱ و مقدار میانگین به دست آمده برای ضریب رعنائی می‌توان دریافت که رقم خزر مورد آزمایش از نوع برنج دانه بلند است. درصد دانه‌های شکسته، همچنین درصد دانه‌های ترک‌دار و سالم در رطوبت‌های مختلف در جدول شماره ۲ ارائه شده است. بررسی جدول فوق‌الذکر نشان می‌دهد که با کاهش میزان رطوبت دانه در حین خشک کردن، درصد برنج سالم نیز کاهش می‌یابد به طوری که در رطوبت $16/4$ درصد نسبت برنج سالم ۸۵ درصد و در رطوبت $10/5$ درصد، ۷۵ درصد است. این جدول همچنین نشان می‌دهد که کاهش رطوبت در حین خشک کردن، به افزایش درصد دانه‌های ترک خورده می‌انجامد. اثر ساده و متقابل پارامترهای دور توپی و سطح مقطع

نتیجه گرفت که کمترین مقدار شکستگی برنج است. همچنین با توجه به مقایسه میانگین ها اثر دور مربوط به دور توپی با ۶۵۰ دور در دقیقه و بیشترین توپی در سه سطح ۷۰۰، ۷۵۰ و ۸۰۰ دور در دقیقه میزان آن مربوط به دور توپی با ۹۰۰ دور در دقیقه معنی دار نیست.

جدول شماره ۳ - تجزیه واریانس میانگین درصد شکستگی برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F	احتمال
تکرار	۲	۱۶/۰۱۱	۸/۰۰۶	۵/۱۷۱۶	۰/۰۰۸۶
دورتوپی	۵	۱۰۱/۲۳۸	۲۰/۲۴۸	۱۳/۰۷۹۹**	۰/۰۰
سطح مقطع	۴	۲۵۶۱/۸۶۲	۶۴۰/۴۶۶	۴۱۳/۷۳۷**	۰/۰۰
سطح مقطع× دور توپی	۲۰	۱۴۵/۶۱۱	۷/۲۸۱	۴/۷۰۳۲**	۰/۰۰
خطا	۵۸	۸۹/۷۸۴	۱/۵۴۸		

** : F محاسبه شده در سطح ۱ درصد معنی دار است.



نمودار شماره ۱- اثر ساده دور توپی بر میزان شکست برنج

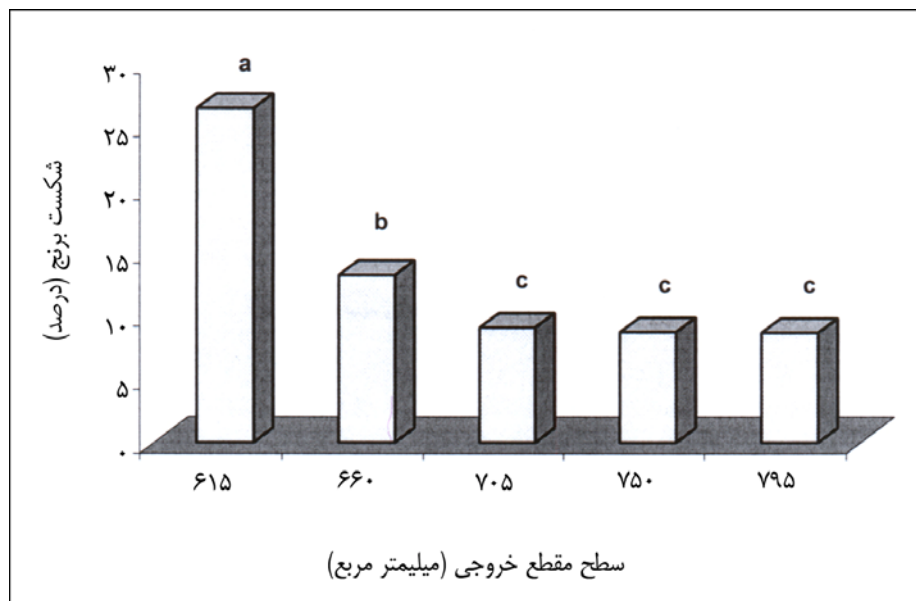
اطلاعات موجود در جدول تجزیه واریانس (جدول شماره ۳) نشان می دهد که اثر پارامتر سطح مقطع خروجی در دستگاه سفیدکن بر میزان شکست دانه برنج در سطح آماری ۱ درصد معنی دار است. به عبارت دیگر، افزایش سطح مقطع خروجی از ۶۱۵ به ۷۹۵ میلی متر مربع باعث کاهش درصد شکست و افزایش راندمان برنج سالم می شود. با توجه به نمودار شماره ۲ می توان دریافت که بیشترین و کمترین مقدار شکست دانه برنج به ترتیب مربوط به سطح مقطع خروجی ۶۱۵ و ۷۹۵

عنایت به جدول مذکور مشاهده می‌شود که میانگین‌های مربوط به این ویژگی در سطح ۱ درصد دارای تفاوت معنی‌دار با یکدیگر هستند. با توجه به نمودار شماره ۳ می‌توان دریافت که بهترین حالت در این میان مربوط به ترکیب فاکتور دور ۸۰۰ دور در دقیقه و سطح مقطع خروجی با ۷۰۵ میلی‌متر مربع است که در آن کمترین مقدار شکست (۷/۱۲ درصد) را داریم و بدترین حالت مربوط به ترکیب فاکتور دور ۹۰۰ دور در دقیقه و سطح مقطع خروجی با ۶۱۵ میلیمتر مربع است که در آن بیشترین درصد خرد (۳۵/۶۹ درصد) را داریم.

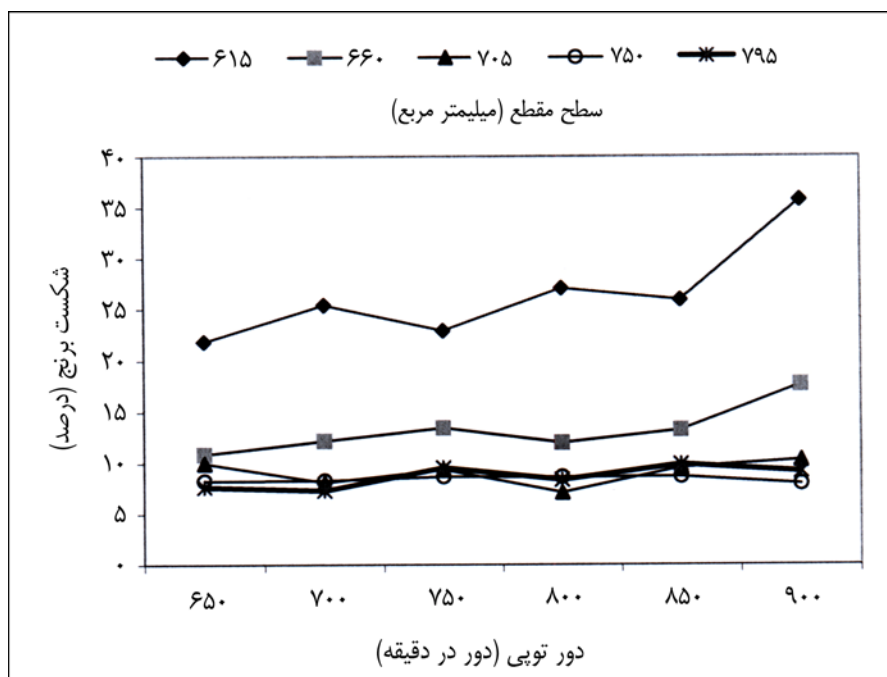
میلی‌متر مربع است. با توجه به مقایسه میانگین‌ها در نمودار شماره ۲، مشاهده می‌شود که اثر سطح مقطع خروجی در سه سطح ۷۰۵، ۷۵۰ و ۷۹۵ میلی‌متر مربع در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار نیست ولی با کاهش سطح خروجی به ۶۶۰ و ۶۱۵ میلی‌متر مربع در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

- اثر متقابل پارامترها

چگونگی تأثیر متقابل دو عامل دور توپی و سطح مقطع خروجی بر مقدار شکست دانه برنج به هنگام سفیدکنی برنج قهوه‌ای در جدول تجزیه واریانس (جدول شماره ۳) نشان داده شده است. با



نمودار شماره ۲- اثر ساده سطح مقطع خروجی بر روی میزان شکست برنج



نمودار شماره ۳- اثر متقابل فاکتورهای دور تویی و سطح مقطع خروجی بر شکست دانه برنج

بر درصد شکستگی دانه برنج نشان داد که افزایش دور تویی باعث افزایش درصد شکستگی دانه برنج در سفیدکن تیغه‌ای می‌شود. علت این امر را می‌توان در افزایش سرعت محیطی دانه‌های برنج و برخورد شدید آنها به همدیگر و به تویی و محفظه تویی در اثر افزایش دور دانست.

در بررسی اثر پارامتر سطح مقطع خروجی در دستگاه سفیدکن، علت افزایش درصد شکست دانه برنج را در سطح مقطع خروجی ۶۱۵ میلی‌متر مربع می‌توان از افزایش فشار وارده بر دانه‌ها در محفظه دستگاه در اثر ممانعت از خروج برنج و شدت سفیدکنندگی روی آنها دانست.

با توجه به جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود که میانگین مشخصه ظاهری ضریب رعنایی دانه شلتوک خزر بزرگتر از ۳ است و در نتیجه این رقم دانه بلند به حساب می‌آید. همان طور که گفته شد، اگر طول دانه بزرگتر از ۶/۶ میلی‌متر و ضریب رعنایی بزرگتر از ۳ باشد برنج از نوع دانه بلند است. با توجه به جدول شماره ۲ علت کاهش برنج سالم را می‌توان چنین توجیه کرد که کاهش رطوبت در دانه حالت تردی و شکنندگی به دانه می‌دهد و موجب ایجاد تنش در اندام داخلی آن می‌شود که به تبع آن انقباض در دانه ایجاد و در نتیجه باعث ترک خوردگی و شکست دانه می‌شود. بررسی اثر دور تویی

۶- نتیجه‌گیری:

ویژه‌ای صورت پذیرد.

مطالعات نشان داد که در این زمینه، به ویژه در داخل کشور، تحقیقات کم و نیاز به گردآوری اطلاعات اولیه در مورد خواص فیزیکی و مکانیکی برنج و همچنین نیاز به جمع‌آوری اطلاعات علمی و فنی در مورد ماشین‌های تبدیل شلتوک به برنج سفید بالاست. با توجه به نتایج به دست آمده و برخی مسایل و مشکلات پیش آمده در اجرای تحقیق حاضر پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- ۱- با توجه به اینکه هیچ گونه اطلاعات مدونی در خصوص مشخصات ظاهری ارقام برنج ایران وجود ندارد و تحقیقات ناچیز است پیشنهاد می‌شود در مورد مشخصات ظاهری ارقام برنج اعم از طول، عرض، ضخامت، و وزن هزاردانه تحقیقات
- ۲- در تحقیق حاضر در مورد اثر دور توپی و سطح مقطع خروجی بر رقم خزر نتایجی به دست آمده پیشنهاد می‌شود اثر عوامل گفته شده بر ارقام دیگر برنج و مقایسه آنها تحقیقات لازم انجام گیرد.
- ۳- با توجه به ثابت در نظر گرفتن فاصله تیغه از توپی و دریچه ورودی شلتوک، پیشنهاد می‌شود در خصوص اثر تغییر این فاکتورها بر ارقام مختلف تحقیقات و آزمایش‌های لازم انجام پذیرد.
- ۴- با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نقش عامل دور توپی و سطح مقطع خروجی را به طور کامل مطالعه کرد، پیشنهاد می‌شود آزمایش‌ها در سطوح بیشتری از عوامل فوق و عوامل مؤثر دیگر دنبال شود.

۷- قدردانی:

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران برای تصویب طرح پژوهشی و مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) جهت انجام آزمایش‌ها و همکاری‌های بی دریغشان، تشکر می‌شود.

۸- مراجع:

۱- بی‌نام. ۱۳۷۹. آمارنامه کشاورزی سال زراعی (۷۸-۷۹). دفتر آمار و فن‌آوری اطلاعات. وزارت کشاورزی.

نشریه شماره ۸۰/۰۳.

۲- بی‌نام. ۱۳۷۶. گزارش طرح مطالعاتی برآورد میزان ضایعات پس از برداشت و بررسی علل آن. دفتر برنج.

سازمان جهاد کشاورزی گیلان. رشت.

۳- پیمان، م. ح. ۱۳۷۸. بررسی عوامل شکستگی دانه در فرایند پوست‌کنی. رساله دکتری. دانشکده کشاورزی.

دانشگاه تربیت مدرس.

۴- حیدری سلطان آبادی، م. ۱۳۷۸. طراحی، ساخت و ارزیابی سیستم اصلاح شده سفیدکن برنج. پایان نامه

کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.

۵- خوش تقاضا، م. ه.، حیدری، م. و توکلی، ت. ۱۳۸۰. بررسی کیفی اثر تیغه و مقدار ورودی برنج در سفیدکن

اصطکاکی. مجله دانشگاه شهید چمران اهواز. جلد ۲۴. شماره ۲، ۱۹-۳۴.

۶- شاکر، م.، افضل‌ی‌نیا، ص. و زارع، الف. مقایسه ترکیبات مختلف دستگاه‌های تبدیل برنج و انتخاب بهترین

آنها. خلاصه مقالات. دومین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. ۱۳۸۱. کرج.

۲۴-۲۷.

۷- شاکر، م.، افضل‌ی‌نیا، ص. و جمشیدی، ع. ۱۳۷۷. بررسی میزان شکستگی برنج در کارگاه‌های تبدیل برنج،

منطقه کربال مرودشت. مجموعه مقالات علمی-تخصصی تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. شماره ۱۱،

۴۶-۷۱.

۸- قوامی، ش. ۱۳۸۱. بررسی اثر دور تویی و درجه سفیدکنندگی بر روی میزان برنج خرد شده رقم خزر در

دستگاه سفیدکن. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.

9- Ahmed, A. and Mazed, M. A. 1996. Improving the rice post-harvest technology in Bangladesh. A. M. A. 27, 37-43.

10- Araullo, E. V., Depaudua, D. B. and Graham, M. 1976. Rice post-harvest technology. International development research center. Ottawa. Canada.

11- Bandyopadhyay, S. and Roy, N. C. 1992. Milling of paddy. In: Rice process technology. New Delhi: Oxford and IBH publishing co. India, 158-175.

-
- 12- Induswamy, Y. M. and Bhatta Charya, K. R. 1979. Breakage of rice during milling, Effect of kernel defects and grain dimension. J. of Food. Proc. Eng., 3-29.
- 13- Wimberly, J. E. 1983. Paddy rice post harvesting industry in developing countries. Internatinal rice research institute. IRRI. Manila. Philipines.

Effects of Hub Round Speed and Outlet Area in Milling Machine on Breakage of Rice Grains

S. Ghavami, A. Borghei and A.Tabatabaee

Nowadays losses in rough rice milling process is a big problem in Iran. Wrongly operating the processing machines, including whitening apparatus, is one of the most important factors that has a remarkable effect on the grain breakage level and grain quality losses. In order to evaluate the effect of whitening machine parameters on breakage of rice grains, long-grain *Khazar* variety was selected. The effects of two operating variables, hub speed (in six levels: 650, 700, 750, 800, 850 and 900 rpm) and machine outlet cross-sectional area (in five levels: 615, 660, 705, 750 and 795 mm²) were investigated. Results showed that by increasing hub speed from 650 to 900 rpm, rice grain breakage increased. It was also concluded that the cross-sectional area of the machine outlet was the most important factor in grain breakage level; and increase of this variable, grain breakage level will decreased. It was shown that the highest breakage percentage corresponded to the combination of hub speed of 900 rpm and outlet area of 615 mm²; and the lowest breakage percentage corresponded to the combination of hub speed of 800 rpm and outlet area of 705 mm².

Key words: Hub Round Speed, Outlet Area, Rice, Whitening Machine

تعیین انرژی مصرفی در دو روش سنتی و نیمه مکانیزه برای تولید برنج^۱

(بررسی موردی در استان گیلان)

میرحسین پیمان، رضا روحی و محمدرضا علیزاده^۲

۱- چکیده:

نقش انرژی در توسعه و کارایی کشاورزی بسیار با اهمیت است. در سالهای گذشته مصرف انرژی، به ویژه سوختهای فسیلی و کودهای شیمیایی در کشاورزی افزایش چشمگیری داشته است و انرژی وارد شده در واحد سطح برای تولید محصول بسیار بیش از گذشته شده است. عوامل اصلی افزایش مصرف انرژی در بخش کشاورزی، افزایش جمعیت، محدودیت زمینهای قابل کشت، ارزان بودن سوخت و کود، و افزایش سطح زندگی و توقعات مردم است. در این مقاله، انرژی مورد نیاز در بخش کشاورزی به ویژه کشت محصول برنج و تبدیل شلتوک به برنج سفید بررسی می شود و ضمن تعیین چگونگی محاسبه انرژی مصرفی و تولیدی در کشت محصول برنج و عوامل مؤثر بر آن، شاخص کارایی انرژی (نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی) در دو روش کشت سنتی و نیمه مکانیزه برای تولید برنج در استان گیلان محاسبه شده است. داده های مورد نیاز با بررسی های میدانی و مصاحبه به دست آمده و انرژی مصرفی در دو روش سنتی و نیمه مکانیزه تولید برنج رقم خزر و همچنین شاخص کارایی انرژی محاسبه و تعیین شده است. نتایج بررسی ها نشان می دهد که روش نیمه مکانیزه از نظر کارایی انرژی نسبت به روش سنتی کاراتر است. کل انرژی مورد نیاز برای تولید شلتوک و تبدیل آن به برنج سفید در هر هکتار از یک رقم برنج متداول در استان گیلان برای دو روش سنتی و نیمه مکانیزه با احتساب آب مصرفی به ترتیب ۷/۷۲۴۸۸ و ۸/۶۸۶۳۳ مگاژول و شاخص کارایی در دو روش سنتی و نیمه مکانیزه به ترتیب ۰۹/۲ و ۲۱/۲ است. بنابراین با توجه به کارا بودن و کم هزینه بودن روش نیمه مکانیزه باید اعتبارات لازم را برای کشاورزان و صاحبان کارخانه های برنجکوبی جهت خرید ماشین آلات مورد نیاز و اصلاح ساختار فراهم کرد.

۲- واژه های کلیدی:

انرژی، برنج خزر، تبدیل برنج، مکانیزاسیون کشاورزی

۱- برگرفته از طرح تحقیقاتی «بررسی انرژی مصرفی در فرآیند پوست کنی و سفید کردن سه رقم برنج رایج استان گیلان».

۲- به ترتیب استادیار مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه گیلان، آدرس: رشت، کیلومتر ۷ جاده رشت- قزوین، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، تلفن: ۰۱۳۱-۶۶۶۰۰۰۹، پیام نگار: payman4747@yahoo.com، دانشجوی سابق

کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس و عضو هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور

۳- مقدمه:

برای تولید گیاهان و جانورانی که از نظر غذایی و صنعتی مورد نیاز انسان هستند مقادیر قابل توجهی از انرژی اعم از نیروی کار انسانی، و حیوانی یا شیمیایی و فسیلی مصرف می‌شود. امروزه قسمت قابل توجهی از انرژی مورد نیاز در بخش کشاورزی، از مواد حاصل از نفت خام تأمین می‌شود که انرژی لازم را برای به کار انداختن ماشین آلات تأمین می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از قدرت موتور در کشاورزی، علاوه بر افزایش کیفیت و کمیت محصول، باعث صرفه‌جویی بسیار زیادی در زمان انجام مراحل مختلف کار کشاورزی مانند کاشت، داشت و ... می‌شود و نیاز به قدرت بدنی کارگر جهت انجام عملیات کشاورزی را کاهش می‌دهد. به عنوان مثال، تحقیقات نشان داده است که مدت زمان لازم برای شخم یک هکتار زمین با تراکتوری با قدرت ۵۰ اسب بخار حدوداً یک صدم زمان شخم با (بیل) و یک ششم زمان شخم با تراکتوری به قدرت ۶ اسب بخار است [۶]. همچنین آمار بیانگر این واقعیت است که مصرف سوخت‌های فسیلی و کودهای شیمیایی افزایش یافته است و انرژی وارد شده در واحد سطح برای تولید محصول بیشتر شده است [۳].

تحقیقات نشان داده است که از عوامل اصلی افزایش مصرف انرژی در بخش کشاورزی افزایش جمعیت، محدودیت زمین‌های قابل کشت، ارزان بودن سوخت، کودهای شیمیایی و افزایش سطح زندگی مردم است [۱۰]. بر پایه همین تحقیقات در بعضی از مناطق به جای استفاده از روش‌های

مناسب مکانیزاسیون و سیستم‌های بهینه آبیاری برای افزایش محصول در واحد سطح به صورتی نامعقول، از کودهای شیمیایی استفاده می‌شود که خطرهای زیست محیطی گسترده‌ای را به همراه دارد. با توجه به بحران انرژی که امروزه در دنیا بسیار مورد توجه دانشمندان و سیاست مداران است و انتشار گازهای گلخانه‌ای به علت مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی که خطرهای زیادی برای محیط زیست و در نتیجه انسان به همراه دارد، تمام تلاش‌ها بر آن است که مصرف انرژی به ویژه سوخت‌های فسیلی تا حد امکان کاهش یابد. بخش کشاورزی نیز از این موضوع مهم استثناء نیست. در اکثر کشورهای پیشرفته و حتی در حال توسعه، انرژی وارد شده در واحد سطح برای تولید محصولات مختلف کشاورزی بررسی شده است و با توجه به انرژی به دست آمده از محصول تولید شده و محاسبه شاخص کارایی انرژی (نسبت انرژی تولیدی از محصول به دست آمده به انرژی مصرفی برای تولید محصول در واحد سطح) سعی کرده‌اند سیستم کشاورزی خود را از نظر مصرف انرژی و تولید محصول بهینه کنند.

از مهمترین نوع مصرف انرژی در کشاورزی می‌توان به تولید کودهای شیمیایی و به کارگیری تراکتور و ماشین‌های کشاورزی (از لحاظ انرژی مصرف شده برای ساخت و از لحاظ سوخت مصرفی) اشاره کرد. بررسی‌ها نشان داده است که ۲۵ درصد از کل انرژی مصرفی برای تولید ذرت در آمریکا مربوط به استفاده از ماشین آلات و سوخت و ۴۵ درصد آن ناشی از به کار بردن کودهای شیمیایی است [۱۲].

شده در مزارع نپال در دوره مورد بررسی ۲۵ درصد است اما در همین دوره انرژی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی وارد شده به مزارع ۴۶۰ درصد رشد داشته است. این مسئله بیانگر آن است که علی‌رغم افزایش مصرف انرژی، کشاورزی نپال مکانیزه محسوب نمی‌شود.

این مطالب نشان دهنده اهمیت بررسی مصرف انرژی در بخش کشاورزی است. متأسفانه در ایران کمتر به این بحث پرداخته شده و اطلاعات آماری اندکی در این زمینه موجود است. هدف از این تحقیق، بررسی انرژی مورد نیاز در بخش کشاورزی، به ویژه کشت محصول برنج و تبدیل شلتوک به برنج سفید و نیز تعیین شاخص کارایی انرژی برای تولید و تبدیل برنج خزر در دو روش کشت سنتی و نیمه مکانیزه در استان گیلان است. مباحث مطرح شده از نخستین تلاش‌ها برای تعیین رابطه بین انرژی و تولید محصول در کشاورزی و یکی از زمینه‌های اصلی در بهینه سازی ماشین‌های مورد نیاز با هدف کاهش مصرف انرژی است.

- تعاریف

در اینجای ضروری است برخی عبارات و اصطلاحات به کار رفته تعریف شوند:

- **انرژی مصرفی:** یا انرژی ورودی، مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید محصول کشاورزی در واحد سطح است و معمولاً بر حسب کیلو کالری بر هکتار بیان می‌شود. این انرژی شامل انرژی نیروی کار، ماشین آلات، سوخت مصرف شده، کود، علف کش، بذر کاشته شده و انرژی الکتریسیته مصرف شده

با مقایسه تولید برنج در آمریکا و ژاپن مشخص شد که نظام تولید برنج در ژاپن کاربر^۱ و در آمریکا سرمایه بر^۲ است. در این دو کشور عملکرد یا تولید محصول در واحد سطح اختلاف چندانی ندارد اما از نظر میزان کار و سوخت مصرفی اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در ژاپن برای تولید برنج در یک هکتار ۶۴۰ نفر ساعت نیروی کار و تنها ۹۰ لیتر سوخت. اما در آمریکا برای تولید برنج در همان مساحت ۲۴ نفر ساعت نیروی کار و ۲۲۵ لیتر بنزین و ۵۵ لیتر گازوئیل مصرف می‌شود [۱۰]. استفاده بیشتر از کود و ارقام پر محصول در ژاپن را می‌توان عامل برابری عملکرد در دو کشور دانست. با مقایسه شاخص کارایی انرژی دو کشور، به راحتی می‌توان دریافت که نظام کاربر در ژاپن منجر به ایجاد فرآیند تولیدی با مصرف انرژی کمتر شده است. همچنین بالا بودن میزان استفاده از ماشین در بخش کشاورزی آمریکا را می‌توان به بالا بودن استاندارد زندگی در آمریکا و هزینه‌های نسبتاً بالای نیروی کار در آن کشور مربوط دانست.

بررسی‌ها در کشور نپال در دوره زمانی

۱۹۷۰-۱۹۹۵، نشان می‌دهد تعداد تراکتورهای این کشور تقریباً ۶ برابر شده است اما سهم توان مکانیکی از کل توان فیزیکی^۳ قابل دسترس این کشور از ۳/۵ درصد تجاوز نکرده است و سهم انرژی مکانیکی (ساخت، تعمیر تراکتور و ماشین‌های کشاورزی، و سوخت) ۱۷ درصد از کل انرژی وارده در مزارع این کشور را تشکیل می‌دهد که قابل توجه است [۱۳]. آمارها همچنین بیانگر آن است که رشد مصرف انرژی مکانیکی و فسیلی وارد

1- Labor Intensive

2- Capital Intensive

۳- مجموع توان کارگری، دام، و ماشین.

است.

۴- مواد و روش‌ها:

قسمت اعظم مطالعه حاضر از روش اسنادی و برای تهیه بخشی از آن از روش مصاحبه استفاده شده است. به همین منظور بخش عمده اطلاعات و داده‌های پایه از گزارش‌های آماری وضعیت تولید برنج استان گیلان استخراج شده که سازمان جهاد کشاورزی این استان منتشر کرده است. مبنای تهیه بیشتر شاخص‌های مورد نیاز مطالعه حاضر نیز اطلاعات فوق بوده است.

یکی از مهمترین شاخص‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر شاخص کارایی انرژی است که برای تعیین آن، بر اساس تعریف عنوان شده در بخش قبل، ابتدا مجموع انرژی‌های صرف شده برای تولید محصول و پس از آن انرژی مربوط به کل شلتوک تولید شده محاسبه شد و سپس نسبت بین دو انرژی، یعنی انرژی ورودی به انرژی خروجی، به دست آمد. در این تحقیق برای تعیین انرژی مصرفی، نیروی کارگری مورد نیاز هر مرحله از عملیات تولید برنج در دو روش سنتی و نیمه مکانیزه تعیین و پس از مشخص کردن میزان سختی هر یک از عملیات فوق (با نظرسنجی از کارگران محلی)، مقدار انرژی مصرفی نیروی کارگری در آن مرحله (حاصل ضرب تعداد کارگر در مقدار انرژی مصرفی یک نفر) به دست آمد. انرژی مصرفی برای کار کارگری در تحقیقات مختلف بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ کیلوکالری در ساعت در نظر گرفته شده است [۶]. در بعضی از تحقیقات انرژی کار کارگری برای کشاورزی سنتی ۵۵۰ کیلو کالری در ساعت (به- عنوان مثال شخم با دست) و برای کشاورزی

- **انرژی تولیدی:** یا انرژی خروجی، مقدار انرژی موجود در محصول در واحد سطح و شامل انرژی متابولیسی موجود در دانه، ساقه، کاه و کلش است. این انرژی برحسب مگاژول بر هکتار بیان می‌شود.

- **تولید برنج به روش سنتی:** منظور روش رایج کشت و تولید برنج در استان گیلان است که در آن فقط از ماشین‌های تیلر و خرمکوب برای تهیه زمین و خرمکوبی استفاده می‌شود و سایر عملیات کشاورزی (کاشت، داشت، و درو) با دست صورت می‌گیرد. در این روش، برای فرآیند تبدیل شلتوک به برنج سفید، جز در دمنده ماشین خشک‌کن که با انرژی الکتریکی به کار می‌افتد در سایر مراحل از سوخت‌های فسیلی برای راه‌اندازی ماشینها استفاده می‌شود. در عملیات تبدیل نیز از خشک‌کن‌های بستر افقی ثابت برای خشک کردن و ماشین‌های الک شلتوک، پوست‌کن غلتک لاستیکی، سفیدکن تیغه‌ای و الک برنج، و بالابرها استفاده می‌شود.

- **تولید برنج به روش نیمه مکانیزه:** در این روش علاوه بر تیلر و خرمکوب از ماشین‌های نشاکار برنج (عمدتاً چهار ردیفه) و دروگر خود گردان نیز به ترتیب برای نشاکاری و دروی شالی استفاده می‌شود. در این روش، عملیات تبدیل شلتوک عمدتاً به کمک انرژی الکتریکی است و تنها مشعل کوره خشک کن با سوخت فسیلی گرما ایجاد می‌کند.

- **شاخص کارایی انرژی:** عددی است بدون بعد که از نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی در سیستم تولید محصول کشاورزی به دست می‌آید.

t = مدت زمان کارکرد ماشین (ساعت در سال) است.
 برای محاسبه سوخت مصرفی مورد نیاز ماشین کشاورزی در حین عملیات در مزرعه از رابطه زیر استفاده شد [۹]:

$$F_T = \frac{F_H}{Ca} \quad (2)$$

که در آن:

F_T = سوخت مورد نیاز برای انجام عملیات ماشین در سطح یک هکتار (لیتر بر هکتار)،
 F_H = سوخت مورد نیاز ماشین در یک ساعت انجام عملیات (لیتر بر ساعت) است.

برای تعیین انرژی مصرفی شده در تبدیل شلتوک رقم خزر به برنج سفید، با توجه به اینکه این رقم عمدتاً در مناطق غرب گیلان کشت می‌شود، ۲۰ کارخانه در شهرهای رشت و فومن به صورت تصادفی تعیین و به آنها مراجعه شد. طی این مراجعات، ضمن مصاحبه با صاحبان این کارخانه‌ها، قبوض برق آنها نیز در دوره‌های پیک کاری بررسی و میزان سوخت و برق مصرفی برای تبدیل شلتوک تعیین شد. با توجه به اینکه کارخانه‌های برنجکوبی شهرهای غرب گیلان از نظر ساختار و طرز کار مشابه هستند [۲] انتخاب ۲۰ کارخانه برای بررسی کافی به نظر می‌رسد. لازم است گفته شود که کارخانه‌های برنجکوبی مورد مراجعه به طور کلی ساختاری ساده دارند و در آنها استفاده از لوازم برقی پر مصرف مانند بخاری برقی و آبگرمکن برقی، به ویژه در فصل کار، رایج نیست.

مکانیزه ۴۵۰ کیلو کالری در ساعت (به عنوان مثال شخم با تراکتور) در نظر گرفته شده است [۸].

میزان نهاده‌های مصرفی برای تولید برنج رقم خزر در دو روش سنتی و نیمه مکانیزه از گزارش‌های سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان استخراج و میزان انرژی موجود در هر نهاده بر اساس میزان پیشنهادی برای واحد نهاده در منابع تعیین شد.

انرژی مصرفی ناشی از کاربرد ماشین آلات برای تولید هر هکتار زراعت برنج رقم خزر شامل انرژی کارگری، انرژی سوخت مصرفی، و انرژی تجهیزات مصرف شده برای ساخت ماشین است. مقدار انرژی فوق بر اساس تحقیقات باورز (Bowers, 1992)، بین ۱۸۰۰۰ تا ۲۱۰۰۰ کیلوکالری برای هر کیلوگرم از وزن ماشین آلات کشاورزی در نظر گرفته شده است.

انرژی مصرفی ناشی از کاربرد هر ماشین کشاورزی از رابطه زیر محاسبه شد [۳].

$$Em = W * E / (n * Ca * t) \quad (1)$$

که در آن:

Em = انرژی مصرفی ناشی از کاربرد تجهیزات و ماشین آلات کشاورزی (مگاژول در هکتار)،
 E = انرژی مصرفی برای تولید واحد وزن ماشین (مگاژول برای هر کیلوگرم)،
 W = جرم ماشین (کیلوگرم)،
 n = عمر مفید ماشین (سال)،
 Ca = ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ماشین (هکتار در ساعت)،

۵- نتایج و بحث:

کار در مراحل کاشت، برداشت به روش نیمه مکانیزه و تبدیل (برای هر دو روش) ۴۵۰ کیلو-کالری بر ساعت و در سایر مراحل ۵۵۰ کیلو کالری بر ساعت باشد، اعداد جدول شماره ۲ برای انرژی کارگری مصرف شده در تولید برنج خزر در دو روش سنتی و نیمه مکانیزه محاسبه شده است. بر مبنای جدول شماره ۴ کل انرژی مصرفی در روش نیمه مکانیزه ۲۶/۹ درصد کمتر از انرژی مصرفی در روش سنتی و کاهش انرژی در مراحل کاشت و برداشت به ترتیب ۴۶/۴ درصد و ۷۱/۱ درصد بوده است.

بر اساس بررسی‌های انجام گرفته در این تحقیق (جدول شماره ۱)، می‌توان دریافت که مجموع تعداد نفر- روز نیروی کارگری مورد نیاز در روش نیمه مکانیزه طی سال‌های زراعی ۷۷-۷۸، ۷۸-۷۹ و ۷۹-۸۰ به طور متوسط ۲۱/۸ درصد کمتر از روش سنتی بوده است. بر اساس اطلاعات جدول شماره ۱ در روش نیمه مکانیزه کاهش نیروی کار در مراحل کاشت و برداشت نسبت به روش سنتی ۳۴/۵ و ۶۴/۷ درصد است. با توجه به مطالب مطرح شده در بخش قبل و با این فرض که انرژی مصرفی نیروی

جدول شماره ۱- تعداد کارگر مورد نیاز برای انجام عملیات تولید و تبدیل برنج رقم خزر در یک هکتار (نفر - روز) [۱]

عملیات	روش سنتی	روش نیمه مکانیزه
آماده سازی زمین (شخم، مرزبندی، و ماله کشی)	۱۴	۱۴
کاشت (تهیه خزانه، بذر پاشی، و نشاکاری)	۲۹	۱۹
داشت (وجین، کودپاشی، و سمپاشی)	۱۹	۱۹
برداشت (درو، دسته بندی، و جمع آوری)	۱۷	۶
خرمنکوبی و کیسه گیری	۱۰	۱۰
تبدیل	۷	۷
جمع کل	۹۶	۷۵

مدت زمان انجام کار مفید هر کارگر ۱۰ ساعت در روز در نظر گرفته شده است [۴].

جدول شماره ۲- انرژی کارگری مصرف شده در عملیات تولید برنج (مگاژول در هکتار)

عملیات	انرژی مصرفی در روش سنتی	انرژی مصرفی در روش نیمه مکانیزه
آماده سازی زمین (شخم، مرزبندی، و ماله کشی)	۳۲۲/۴	۳۲۲/۴
کاشت (تهیه خزانه، بذر پاشی، و نشاکاری)	۶۶۷/۷	۳۵۸
داشت (وجین، کودپاشی، و سمپاشی)	۴۳۷/۵	۴۳۷/۵
برداشت (درو، دسته بندی، و جمع آوری)	۳۹۱/۴	۱۱۳
خرمنکوبی و کیسه گیری	۲۳۰/۳	۲۳۰/۳
تبدیل	۱۳۱/۸	۱۳۱/۸
جمع کل	۲۱۸۱/۱	۱۵۹۳

نتایج جدول براساس محاسبات نگارندگان است.

به عبارت دیگر، با مکانیزه کردن مراحل کاشت می‌دهد. و برداشت تولید برنج میزان کاهش مصرف انرژی همان‌گونه که در این جدول ملاحظه می‌شود بیش از میزان کاهش زمان انجام کار یا تعداد افراد به اختلاف دو روش تنها در میزان بذر مصرف شده کار گرفته شده خواهد بود. است. لازم است یاد آوری شود که مطالعات در مناطق مرکزی استان و در زمینهایی بوده است که با مصرف شده را در دوره زراعی مورد بررسی برای کانال آب بر فومن آبیاری می‌شوند و نیاز به پمپاژ تولید رقم خزر در دو روش مورد مطالعه نشان کردن آب ندارند.

جدول شماره ۳- مقدار نهاده‌های مورد نیاز برای تولید برنج رقم خزر در سطح یک هکتار [۱]

نهاده	روش سنتی	روش نیمه مکانیزه
بذر	۸۰ کیلو گرم	۵۰ کیلو گرم
کود ازته (۴۶٪)	۲۰۰ کیلوگرم	۲۰۰ کیلوگرم
کود فسفره (۲۴٪)	۵۰ کیلوگرم	۵۰ کیلوگرم
کود پتاسه (۵۰٪)	۵۰ کیلوگرم	۵۰ کیلوگرم
علف کش	۵ لیتر	۵ لیتر
آب	۱۲۰۰۰ مترمکعب	۱۲۰۰۰ مترمکعب

اعداد داخل پرانتز درجه خلوص است.

یکی از معضلات روش سنتی کاشت و تولید برنج، مصرف بیش از اندازه بذر است. جدول تولید برنج در جدول شماره ۴ ارائه شده شماره ۳ این واقعیت را آشکار می‌سازد. است.

جدول شماره ۴- انرژی موجود در نهاده‌های به کار رفته در تولید برنج [۱۱]

نهاده	انرژی موجود
کود ازته	۱۴۷۰۰-۱۲۰۰۰ (کیلوکالری در کیلوگرم)
کود فسفره	۳۲۰۰-۳۰۰۰ (کیلوکالری در کیلوگرم)
کود پتاسه	۱۶۵۰-۱۶۰۰ (کیلوکالری در کیلوگرم)
علف کش	۵۷۰۰۰-۸۰۰۰۰ (کیلوکالری در لیتر)
بذر برنج	۳۵۰۰-۳۰۰۰ (کیلوکالری در کیلوگرم)
آب	۱۰۰۰ (کیلوکالری در متر مکعب)

بر اساس اعداد موجود در جدول‌های شماره ۳ (مقدار نهاده مصرفی در واحد سطح) و ۴ (انرژی موجود در هر واحد از نهاده)، می‌توان مصرف انرژی ناشی از به‌کارگیری نهاده‌های مورد نیاز را برای تولید برنج خزر می‌دهد.

در هر هکتار (حاصل ضرب مقدار نهاده مصرفی در انرژی موجود در واحد نهاده) محاسبه و تعیین کرد (پس از تبدیل واحد از کالری به ژول). جدول شماره ۵ نتیجه محاسبات را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۵- انرژی مصرفی نهاده‌های به کار رفته برای تولید برنج خزر (مگاژول در هکتار)

نهاده	روش سنتی	روش نیمه مکانیزه
بذر	۱۱۷۲/۲	۷۳۲/۶
کود از ته	۵۶۶۱/۸	۵۶۶۱/۸
کود فسفره	۱۵۰/۷	۱۵۰/۷
کود پتاسه	۱۶۷/۵	۱۶۷/۵
علف کش	۱۶۷۲	۱۶۷۲
آب	۵۰۱۶۰	۵۰۱۶۰
انرژی کل	۵۸۹۸۶/۸	۵۸۵۴۷/۲

محاسبات با فرض بیشترین انرژی موجود در نهاده (از جدول شماره ۴) به دست آمده است.

به این نکته نیز باید توجه داشت که منظور از انرژی کود شیمیایی، مقدار انرژی موجود در ماده خالص موجود در کود است. بدین ترتیب انرژی موجود در ۲۰۰ کیلو گرم کود از ته ۴۶٪ برابر است با :

$$Mj = ۵۶۶۱/۸ = ۰/۰۰۴۱۸ \times ۱۴۷۰۰ \times ۴۶\% \times ۲۰۰ \text{ (عدد } ۰/۰۰۴۱۸ \text{ ضریب تبدیل واحد است.)}$$

همان‌گونه که در جدول‌های شماره ۳ و ۵ دیده می‌شود میزان بذر و انرژی ناشی از مصرف آن در روش نیمه مکانیزه ۳۷/۵ درصد کمتر از روش سنتی است.

برای محاسبه انرژی مصرفی ناشی از کاربرد ماشین آلات و سوخت مورد نیاز آنها ابتدا میزان کاربری و مشخصات فنی مورد نیاز هر یک در واحد سطح (هکتار) تعیین شد (جدول شماره ۶). آنگاه به کمک روابط شماره ۱ و ۲ انرژی مصرفی محاسبه گردید. جدول شماره ۷ نتایج حاصل را نشان می‌دهد.

در محاسبه اعداد جدول شماره ۷ میزان انرژی موجود در هر لیتر سوخت به طور متوسط ۴۷/۸ مگاژول در نظر گرفته شده است [۳]. اختلاف اساسی روش نیمه مکانیزه تولید برنج با روش سنتی در استفاده از ماشین در دو مرحله شاکاری و درو است. از این رو، همان‌گونه که در جدول شماره ۷ مشاهده می‌شود، میزان مصرف انرژی از دو جنبه مصرف سوخت و کاربرد ماشین در سیستم مکانیزه به ترتیب ۱۴ و ۴۴/۷ درصد نسبت به سیستم سنتی بیشتر است.

جدول شماره ۶- مشخصات ماشین‌های به کار رفته در تولید برنج و میزان سوخت مصرفی آنها [۴ و ۵]					
نوع ماشین	وزن (کیلوگرم)	عمر مفید (سال)	ساعات کارکرد در سال	ظرفیت مزرعه‌ای (هکتار در ساعت)	مصرف سوخت (لیتر در ساعت)
تیلر (برای تهیه زمین)	۲۸۱	۱۰	۶۰۰	۰٫۱	۶
نشا کار	۱۶۰	۷	۳۰۰	۰٫۱۳	۰٫۵
دروگر خود گردان	۱۴۵	۱۰	۳۰۰	۰٫۲۹۴	۳٫۲
خرمنکوب	۱۱۰	۱۰	۶۰۰	۰٫۰۴	۱٫۲

جدول شماره ۷- انرژی مصرفی ناشی از کاربرد ماشین و سوخت مصرفی آن (مگاژول در هکتار)				
نوع ماشین	انرژی مربوط به کاربرد ماشین	انرژی مربوط به سوخت مصرفی		
	روش سنتی	روش نیمه مکانیزه	روش سنتی	روش نیمه مکانیزه
تیلر	۴۱٫۲	۴۱٫۲	۲۸۶۷٫۱	۲۸۶۷٫۱
نشا کار	-	۵۱٫۵	-	۱۸۳٫۸
دروگر	-	۱۴٫۵	-	۵۲۰٫۱
خرمنکوب	۴۰٫۳	۴۰٫۳	۱۴۳۳٫۵	۱۴۳۳٫۵
جمع کل	۸۱٫۵	۱۴۷٫۴	۴۳۰۰٫۴	۴۹۹۶٫۴

می‌شود. محاسبه میزان کل انرژی مصرفی برای تولید برنج خزر در دو روش تولید، و نتایج به دست آمده در جدول شماره ۹ ارائه شده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان کاه و کلش تولید شده در دو روش تولید برنج تفاوت زیادی ندارد. در هر دو روش، در هر هکتار حدود ۵ تن شلتوک و ۴ تن کاه و کلش برداشت می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که مکانیزاسیون به طور مستقیم در افزایش عملکرد مؤثر نیست و استفاده از ارقام اصلاح شده و عوامل بیولوژیک دخیل هستند.

آخرین مرحله در محاسبه انرژی مصرفی برای تولید برنج، محاسبه انرژی مرحله تبدیل است. در این قسمت، میانگین انرژی مصرفی برای تبدیل در ۲۰ کارخانه برنج‌کوبی و در دو روش، محاسبه و نتیجه در جدول شماره ۸ نشان داده شده است.

در روش نیمه مکانیزه تبدیل شلتوک، مصرف انرژی ۲۵٫۷ درصد کمتر از روش سنتی است زیرا در سیستم نیمه مکانیزه برای راه‌اندازی ماشین‌های موجود به جای موتور دیزل از الکتروموتور استفاده

جدول شماره ۸- انرژی مصرفی در مرحله تبدیل شلتوک رقم خزر

روش تبدیل	سوخت مورد نیاز (لیتر در هکتار)	انرژی الکتریکی مصرفی (کیلووات ساعت در هکتار)	جمع کل انرژی (مگاژول در هکتار)
سستی	۲۳۰	۱۸۰	۱۱۲۳۹٫۳
نیمه مکانیزه	۱۵۰	۴۰۰	۸۳۴۶٫۲

جدول شماره ۹- میزان کل مصرف انرژی برای تولید برنج سفید خزر در گیلان (مگاژول در هکتار)

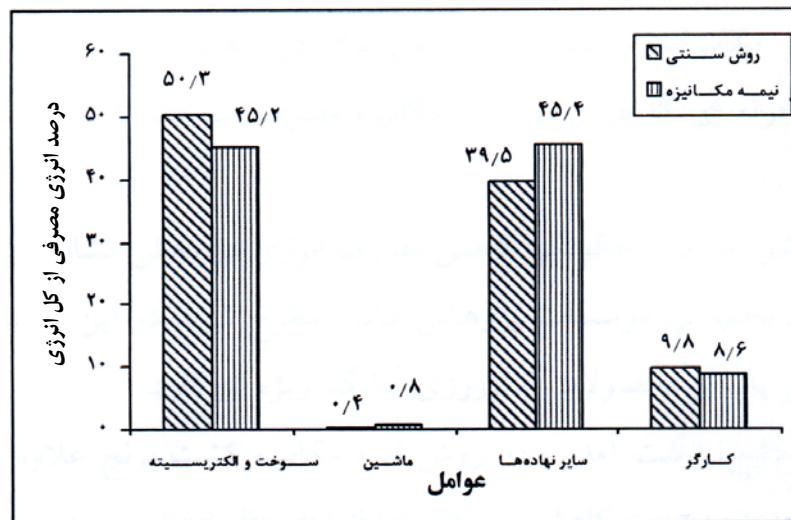
روش تولید	کارگر	نهادها	ماشین	سوخت و الکتریسته	جمع کل
سستی	۲۱۸۱٫۱	۵۸۹۸۶٫۸	۸۱٫۵	۱۱۲۳۹٫۳	۷۲۴۸۸٫۷
نیمه مکانیزه	۱۵۹۳	۵۸۵۴۷٫۲	۱۴۷٫۴	۸۳۴۶٫۲	۶۸۶۳۳٫۸

می‌توان سهم هر یک از عوامل را در میزان انرژی لازم برای تولید برنج رقم خزر به صورت نمودار نشان داد (شکل شماره ۱). همان‌گونه که در این شکل نشان داده شده است در روش سستی ۴۵٫۲ درصد از انرژی مصرف شده برای تولید برنج مربوط به سوخت است و از این رو اهمیت انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی در روش سستی بیشتر آشکار می‌شود.

همچنین نقش استفاده از ماشین در تولید برنج با هدف کاهش زمان، هزینه، و انرژی مصرفی به ویژه در مرحله تبدیل شلتوک به برنج سفید بسیار مهم است و ضرورت دارد هر چه سریع‌تر در گسترش استفاده از ماشین‌های دروگر، و نشاکار و همچنین استفاده از نیروی برق در کارخانه‌های برنج‌کوبی مناطق برنج‌خیز شمال کشور برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری شود.

با فرض وجود ۱۹/۶۴ مگاژول انرژی در هر کیلوگرم کاه و کلش برنج [۱۱] میزان کل انرژی تولید شده از هر هکتار مزرعه برنج در هر دو روش در حدود ۱۵۱۷۳۴ مگاژول است. با توجه به میزان انرژی تولید شده در هر هکتار مزرعه برنج رقم خزر و همچنین با عنایت به میزان انرژی مصرف شده در تولید برنج مذکور، شاخص کارایی انرژی در دو روش سستی و نیمه مکانیزه تولید برنج در استان گیلان به ترتیب ۲/۰۹ و ۲/۲۱ به دست می‌آید و مبین این واقعیت است که روش نیمه مکانیزه تولید برنج نسبت به روش سستی از لحاظ مصرف انرژی با صرفه‌تر است بدین معنی که در این روش از عوامل تولید به نحو مؤثرتری استفاده می‌شود.

با توجه به مطالب ذکر شده و نتایج به دست آمده در این تحقیق، بدون در نظر گرفتن آب مصرفی



شکل شماره ۱- سهم هر یک از عوامل در میزان انرژی لازم برای تولید برنج خزر (بدون احتساب انرژی آب مصرفی)

۶- نتیجه گیری:

۲- در بخش نهاده‌های مصرفی، میزان بذر مصرف

شده در هر هکتار در سیستم نیمه مکانیزه ۳۷/۵ درصد کمتر از روش سنتی است که خود می‌تواند باعث صرفه‌جویی مقدار قابل توجهی شلتوک در کل مناطق برنج خیز کشور شود.

۳- به‌کارگیری ماشین در سیستم نیمه مکانیزه بیش از سیستم سنتی و مصرف انرژی مربوط به آن نیز ۱/۸ برابر روش سنتی است، اما سهم این انرژی نسبت به کل انرژی مصرف شده برای تولید برنج بسیار ناچیز (تقریباً ۰/۰۷ درصد) و بی‌اهمیت است.

۴- مهم‌ترین اثر مکانیزاسیون کشاورزی را می‌توان در کاهش مصرف سوخت در کل فرآیند تولید برنج دانست. به گونه‌ای که در روش نیمه مکانیزه مصرف سوخت ۱۹/۲ درصد کمتر از روش سنتی محاسبه شده است.

۵- پیشنهاد می‌شود بررسی چگونگی کاهش مصرف

به‌طور کلی، بررسی نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان انرژی مصرفی برای تولید برنج مربوط به آب مصرفی است. به‌طور قطع تسطیح اراضی شالیزاری در کاهش مصرف آب و انرژی تأثیر بسزا دارد و از منظر انرژی مصرفی، نیز اجرای طرح‌های تسطیح اراضی در مناطق برنجکاری شمال کشور مفید به نظر می‌رسد. اما بدون در نظر گرفتن انرژی مربوط به آب مصرفی و در قیاس سایر انرژی‌های به کار رفته در تولید برنج خزر در دو سیستم مورد بحث می‌توان دریافت که:

۱- در سیستم نیمه مکانیزه، نیروی کارگر و انرژی مربوط ۲۶/۷ درصد کمتر از سیستم سنتی تولید برنج است و این مسئله با توجه به هزینه‌های بالای نیروی کارگر در زراعت برنج و نیز تبعات کار در گل و لای مزارع برنج که از لحاظ بهداشتی نامطلوب است قابل توجه خواهد بود.

انرژی در بخش کشاورزی و تولید برنج یکی از اولویتهای تحقیقاتی مؤسسات پژوهشی کشور در نظر گرفته شود. در این زمینه، تعیین شاخص کارایی انرژی در تولید هر یک از محصولات کشاورزی جایگاه ویژه‌ای دارد.

۶- با توجه به نتایج به دست آمده، در روش نیمه مکانیزه کشت برنج علاوه بر کاهش مصرف بذر، میزان انرژی مصرفی نیز به شدت کاهش می‌یابد. لذا از این منظر نیز تسریع در بسط و گسترش ماشین‌های نشاکار اهمیت ویژه‌ای دارد و پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران بخش کشاورزی در تهیه و توزیع ماشین‌های نشاکار و رفع موانع موجود در روند توسعه مکانیزاسیون زراعت برنج به‌ویژه در مرحله کاشت، تدابیر ویژه‌ای اتخاذ کنند.

۷- مراجع:

- ۱- بی‌نام. ۱۳۷۸. گزارش وضعیت تولید برنج در استان گیلان (۱۳۷۸-۱۳۷۷). سازمان جهاد کشاورزی. استان گیلان.
- ۲- پیمان، م. ماشین‌ها و سیستمهای تبدیل شلتوک به برنج سفید در ایران و جهان. ششمین گردهمایی برنج کشور. ۱۳۷۸. کرج.
- ۳- کوچکی، ع. ۱۳۶۸. سیر انرژی در اکوسیستمهای کشاورزی. انتشارات جاوید.
- ۴- علیزاده، م. ر. ۱۳۸۰. بررسی و مقایسه میزان ضایعات در روشهای مختلف برداشت برنج. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور. رشت. شماره ۸۰/۶۶۲.
- ۵- علیزاده، م. ر. ۱۳۷۸. مقایسه دو روش نشاکاری سنتی و مکانیزه برنج. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج کشور. رشت، شماره ۷۸/۷۴۵، ۱۴ ص.
- 6- Anon. 2001. Asia environment outlook. chap. 5. www.adb.org/aeo/pub/.
- 7- Bowers, W. 1992. Agricultural field equipment, Energy in farm production, Energy in world agriculture. FAO database.
- 8- Gajasen, G. 1994. Energy analysis wetland rice system in Thailand. in: Agriculture, ecosystems and environment. 52, 173-178.
- 9- Hunt, D. R. 1983. Farm power & machinery management. 8th Ed. Iowa State University Press. Ames. Iowa.
- 10- Kennedy, S. 2001. Energy use in American agriculture. Sustainable energy term paper. www.web.mit.edu/energylab/proceeding.
- 11- Mittal, V. K., Mittal, J. P. and Dhawan, K. C. 1985. Research digest on energy requirements in agricultural sector. Coordinating cell. Punjab agricultural university. Ludhiana.

-
- 12- Pimentel, D., Pimentel, D. and Machan, M. K. 1999. Energy use in agriculture: An overview. <http://dspace.library.cornell.edu/retrieve/229/Energy>.
- 13- Shrestha, B. L. 1998. Energy analysis in selected crop in Nepal. AIT thesis, No AE- 8815, 34-35.

Determination of Energy Consumption in Traditional and Semi-Mechanized Methods for Rice Production (A Case Study in Gilan Province)

M. H. Payman, Gh. R. Rouhi and M. R. Alizadeh

The role of energy is the most important factor in agricultural development. In recent years, energy consumption, particularly fossil fuels, and chemical fertilizers has been increased and energy consumption per area for crop production is much more than before. The main factors of the increasing of energy consumption in agricultural sector are increasing of population, limitation of arable lands, the cheapness of fuel and fertilizer, and high standard of living and people expectations. In this paper, energy required in agricultural sector, particularly rice production and paddy processing to white rice, was assessed. As well as the determination of the calculation method of consumed and produced energy in rice production and effective factors on it, energy efficiency index (the rate of output energy to input energy) in two methods, traditional and semi- mechanized for rice production in Gilan province was also calculated.

The required data were collected by field studies and interview and energy consumption in rice (Khazar variety) production and energy efficiency index has been also calculated and determined. The results indicated that semi-mechanized method was more efficient than traditional method. The total energy requirements for rough rice production and its processing to white rice per hectare for a common variety of rice in Gilan province, in traditional and semi-mechanized methods by considering water consumption were 72488.7 and 68633.8 MJ and efficiency index were 2.09 and 2.21, respectively. The semi- mechanized method was an efficient and low cost method, thus it was necessary to provide credit and facilities for farmers and mills. In other hands, design and development of machinery in rice production must be considered from point of view of size, farms and energy consumption.

Key words: Agricultural Mechanization, Energy, Milling, Rice Production

شبیه سازی عددی رفتار دینامیکی مواد دانه ای کشاورزی در محیط های گسسته با ارائه

مدلی با المان های مجزا^۱

محمد حسین عباسپور فرد^۲

۱- چکیده:

یکی از عوامل مهم در دقت شبیه سازی مدل های DEM، انطباق شکل المان های به کار رفته در مدل کامپیوتری با شکل ذرات یا اجسام در سیستم حقیقی است. مطالعات انجام شده به کمک مدل های DEM در زمینه سیستم های حاوی مواد دانه ای، تاکنون مدلهایی بوده اند که المان های به کار رفته در آنها کروی یا بیضی مانند بوده است. از آنجا که شکل اکثر میوه ها و سبزی ها غیر کروی و نامنظم اند مدل های حاوی این گونه المان ها نمی تواند بیان کننده رفتار دقیق آنها باشد. مقاله حاضر مدلی را ارائه می کند که المان های آن می تواند کروی یا غیر کروی باشد. در این مدل، شکل هر المان با ترکیبی از گوی ها (کرات در سیستم های سه بعدی و دوایر در دو بعدی) با اندازه های مختلف، با هم پوشانی دلخواه بین آنها تعیین می شود به طوری که شکل نهایی آنها بسیار نزدیک به شکل واقعی میوه یا محصول مورد نظر باشد. نتایج ارزیابی تئوری مدل نشان دهنده تنها ۰/۰۷ درصد خطاست که این امر دلالت بر صحت فرموله شدن مدل و الگوریتم های موجود در آن است. همچنین، نتایج ارزیابی تجربی مدل برای بررسی دقت پیش بینی رفتار یک سیستم فیزیکی مشابه نشان می دهد که مدل توانسته است با دقت ۸۲ درصد رفتار سیستم را پیش بینی کند. این میزان خطا می تواند به میزان دقت در اندازه گیری خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مورد نیاز سیستم ربط داده شود. به منظور نشان دادن توانایی مدل در شبیه سازی انتقال و فراوری محصولات کشاورزی، نمونه هایی از کاربرد مدل در این زمینه ارائه شده است. نتایج این شبیه سازی ها به صورت نمودارهای تغییرات نیروهای عمودی وارد بر جسم (که باعث لهیدگی آنها هستند) و نیروهای مماسی (که منشاء خراشیدگی هستند) ارائه شده است. علاوه بر این، تصاویر ارائه شده در این مقاله که برگرفته شده از انیمیشن های حاصل از نتایج مدل هستند توانایی مدل را در شبیه سازی فرایندهای مختلف محصولات کشاورزی بیان می کنند.

۲- واژه های کلیدی:

المان های مجزا، رفتار دینامیکی، شبیه سازی عددی، مواد دانه ای

۱- برگرفته از Discrete Element Modeling

۲- عضو هیئت علمی گروه ماشینهای کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳ مشهد.

تلفن: ۰۵۱۱ ۸۷۹۵۶۱۲-۱۷، فاکس: ۰۵۱۱ ۷۸۷۴۳۰ - پیام نگار: abaspour@ferdowsi.um.ac.ir

۱- مقدمه:

این دو حالت به طور قابل توجهی متفاوت است [۵] به خصوص اگر دانه‌ها از نظر شکل و اندازه در داخل سیستم متفاوت باشند. از طرفی به منظور صرفه‌جویی در وقت و کاهش هزینه‌ها، اکثر مطالعات تجربی در زمینه جا به جایی و انتقال غلات به خصوص در سیلوها، به کمک مدل‌های کوچک‌تر از سیلوهای حقیقی و در حالت‌های بسیار ساده و خاص انجام گرفته است. اطلاعات حاصل از این گونه مدل‌های کوچک فیزیکی باید از طریق برون‌یابی به مدل‌های حقیقی تعمیم یابد که این امر اغلب سبب تفسیر به غلط نتایج می‌شود [۸]. محاسبه و تخمین نیروهای برخورد بین دانه‌ها در مواد توده همیشه از مسائل مورد علاقه محققان بوده و هست. مطالعات تجربی انجام شده در خصوص برآورد صدمات در میوه‌های نرم به هنگام برخورد با همدیگر یا با سطوح داخلی ماشین‌های فرآوری منجر به ساخت و توسعه دستگاه کره ثبات^۱ شد. این دستگاه را گروه‌های تحقیقاتی مختلف از جمله (Chen and Yazdani, 1991) و (Brown et al., 1990) تکمیل کردند و به کار بردند. این وسیله^۲ کروی با قرارگیری در داخل مواد در حال حرکت، با اندازه‌گیری شتاب لحظه‌ای وارد برخوردش، می‌تواند رفتار دینامیکی را بر حسب سرعت جسم و برآیند نیروهای وارد بر آن ارائه کند. با اینکه این وسیله اطلاعات مفیدی در هنگام انتقال و فرآوری میوه‌ها فراهم می‌کند، محدودیت‌هایی نیز دارد. این وسیله، نیروهای برخورد (ضربه) را از طریق برآیند شتاب‌های وارد بر خود محاسبه و ثبت می‌کند لذا در شرایطی که چندین ضربه متقابل به

محصولات دانه‌ای^۱ کشاورزی از ابتدای مرحله کاشت تا رسیدن به دست مصرف‌کننده، به طور مداوم در حال نقل و انتقال و فرآوری در مراحل مختلف هستند. بسته به نوع محصول، اکثر این عملیات ممکن است بالقوه به محصول صدمه وارد کنند. این صدمات شامل لهیدگی در میوه‌های نرم و شکستگی در مواد بیولوژیک سخت‌تر است. تحقیقات نشان می‌دهد که تلفات حاصل از این گونه صدمات در سطح جهانی بالغ بر ۳۰ درصد است [۹].

برای بهبود تجهیزات حمل و نقل و فرآوری به منظور کاهش صدمات، اطلاعات جامعی در مورد خصوصیات فیزیکی و رفتار دینامیکی این گونه مواد مورد نیاز خواهد بود. اگرچه تعیین بسیاری از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مواد صرفاً از طریق تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی امکان‌پذیر است، رفتار دینامیکی آنها را می‌توان تماماً و با استفاده از مدل‌های تئوری یا عددی نیز مطالعه کرد به طوری که اطلاعات به دست آمده از این مدل‌ها می‌تواند به مراتب دقیق‌تر از نتایج تحقیقات تجربی باشد. با این همه، جهت پیش‌بینی رفتار مواد، این مدل‌ها به اطلاعات اولیه در مورد خصوصیات مواد نیاز دارند که خود نیز از نتایج مطالعات تجربی حاصل می‌شود.

اکثر محصولات کشاورزی به صورت توده^۳ فله منتقل و فرآوری می‌شوند، با وجود این، رفتار آنها باید هم به صورت منفرد^۲ و هم به صورت توده^۳ مطالعه شود، زیرا رفتار مکانیکی این گونه مواد در

۱- منظور از دانه همان (Particle) است که در این تحقیق منظور اجزای گسسته در سیستمی منفصل هستند که ممکن است هر

چیزی مثل میوه، دانه غلات، و غیره باشد.

- طور همزمان برآن وارد آید بین اندازه نیروهای برخوردی و برآیند نیروهای ثبت شده توسط دستگاه، تفاوت فاحشی به وجود خواهد آمد. علاوه بر این، به دلیل اختلاف جرم و چگالی این جسم با میوه‌های حقیقی و غیر کروی بودن میوه‌ها خطاهای دیگری نیز در نتایج به دست آمده از این دستگاه بروز می‌کند. زیرا شکل دانه‌ها یکی از فاکتورهای مؤثر در رفتار مواد دانه‌ای است [۱۱].
- گسترش سریع کامپیوتر سبب شد تا با استفاده از آن شبیه‌سازی عددی در کنار روش‌های تجربی بیشتر مورد توجه قرار گیرد. در مقایسه با روش‌های تجربی و آزمایشگاهی، این روش بسیار قابل انعطاف است به طوری که با تغییرات جزئی در پارامترهای مؤثر بر مدل می‌توان نتایج متفاوتی به دست آورد در حالی که در مدل آزمایشگاهی اجرای این کار نیازمند صرف وقت و هزینه زیاد خواهد بود. علاوه بر این، در مدل عددی اطلاعات متعدد و زیادی مثل سرعت، شتاب، موقعیت، و نیروهای برخوردی در هر المان را می‌توان از داخل سیستم در هر زمان دلخواه استخراج کرد در حالی که در مدل‌های تجربی این کار اگر ناممکن نباشد بسیار مشکل خواهد بود. بنابراین، جهت مطالعه رفتار دینامیکی مواد مدل‌های عددی می‌توانند مکمل مناسبی برای روش‌های تجربی باشند.
- استفاده از مدل‌های عددی در مطالعه رفتار مواد دانه‌ای**
- مطالعات انجام شده به کمک مدل‌های عددی روی مواد دانه‌ای (میوه‌ها و غلات) بر اساس دو اصل متفاوت پایه‌گذاری، برنامه‌سازی، و تدوین می‌شوند:
- مدل‌های مبتنی بر مکانیک محیط‌های پیوسته^۱
 - مدل‌های مبتنی بر مکانیک محیط‌های گسسته^۲
 روش المان‌های محدود^۳ (FEM) و روش المان‌های مرزی^۴ (BEM) دو روش معمول و شناخته شده مبتنی بر مکانیک محیط‌های پیوسته هستند. این روش‌ها برای مطالعه مواد دانه‌ای (محیط‌های گسسته) نیز به کار می‌روند. ولی فقط موقعی می‌توانند برای این محیط‌ها مفید باشند که اندازه اجزای تشکیل دهنده سیستم (دانه‌ها) از ابعاد کلی سیستم به مراتب کوچک‌تر باشد (مثل دانه‌های گندم در سیلو یا ذرات خاک در نمونه خاک). چنانچه این ویژگی در سیستم شبیه‌سازی شده وجود نداشته باشد، یعنی ابعاد دانه‌ها نسبت به ابعاد سیستم نسبتاً بزرگ باشد (مثلاً شبیه‌سازی جعبه با تعدادی محدود میوه)، فرض پیوستگی محیط در سیستم دور از واقعیت است و نتایج به دست آمده از مدل شبیه‌سازی شده خطای زیادی دارد و قابل تعمیم به مدل فیزیکی مشابه نخواهد بود [۱۰].
- در مدل‌های مبتنی بر محیط‌های گسسته، رفتار کلی هر سیستم با شبیه‌سازی رفتار تک تک اجزای تشکیل دهنده آن شبیه‌سازی می‌شود. با افزایش روز افزون سرعت کامپیوترها این امکان فراهم شده است تا محاسبه موقعیت، شتاب، و سرعت تک تک اجزای سیستم منفصل که متشکل از تعداد نسبتاً زیادی المان (دانه) است، امکان پذیر باشد. لذا این مدل‌ها که طبیعت گسسته سیستم‌های حاوی اجزای منفصل را مد نظر قرار می‌دهند و رفتار سیستم را از روی رفتار تک تک اجزای آن شبیه‌سازی می‌کنند، تحت عنوان مدل‌های با المان‌های

کشاورزی و صنعتی کروی نیست، نتایج به دست آمده از این مدل‌ها نمی‌تواند به سادگی به یک مدل واقعی تعمیم داده شود. شبیه سازی‌های انجام شده توسط (Ng and Dobry, 1994) نشان داد که چنانچه از المان‌های کروی در مدل استفاده شود، نتایج شبیه سازی حکایت از چرخش بیش از حد دانه‌ها دارد و مقاومت برشی مواد را به مراتب کمتر از مقدار واقعی آن برآورد می‌کند. از طرف دیگر، در مدل‌های با المان‌های بیضی شکل و چند وجهی، محاسبات مربوط به نیروهای تماسی بین المان‌ها به مراتب پیچیده‌تر است مضافاً اینکه المان‌های چند وجهی بیشتر مناسب شبیه سازی سیستم‌های حاوی صخره و سنگ هستند.

مدل ارائه شده در این مقاله در عین اینکه به مقدار زیادی سادگی محاسبات در آن لحاظ شده این توانایی را نیز دارد که بتواند المان‌هایی با شکل دلخواه و نزدیک به شکل دانه‌ها در یک مدل واقعی مورد مطالعه ایجاد کند. این مدل، که روش کرات ترکیب نامگذاری شده است، می‌تواند المان‌ها یا اجسام را به صورت سه بعدی به گونه ای تولید کند که هر جسم متشکل از یک یا چند کره با هم پوشانی یا بدون هم پوشانی و با اندازه های مختلف متصل به هم ساخته شده باشد. از آنجا که اکثر میوه‌ها، سبزی‌ها، و دانه‌ها غیر کروی و با سطوح خارجی محدب هستند، دانه‌های ایجاد شده به این روش ممکن است به گونه‌ای با ترکیب متفاوتی از کرات مختلف ساخته شوند تا به شکل میوه و دانه‌های واقعی نزدیک‌تر باشند. از آنجا که اجزای بنیادی هر المان در این مدل کره است بنابراین تماس بین المان‌ها در مدل را می‌توان بر اساس محاسبات

مجزا^۱ (DEM) شناخته می‌شوند. در این مدل‌ها، جهت شبیه‌سازی رفتار هر سیستم مراحل زیر طی می‌شود:

- تولید و ایجاد دانه‌ها (المان‌ها) و دیواره‌های سیستم،

- تعیین زوج المان‌های در تماس با هم یا با دیواره‌ها در هر گام زمانی^۲،

- محاسبه نیروهای تماسی بین دانه‌ها یا بین دانه‌ها و دیواره‌ها،

- به دست آوردن شتاب، سرعت، و موقعیت دانه‌ها در اثر برآیند نیروهای وارد بر هر دانه در انتهای هر گام زمانی،

- تکرار سه مرحله دوم، سوم، و چهارم به دلخواه کاربر در سیکل بسته تا رفتار سیستم طی یک فرایند شبیه سازی شود.

- معرفی مدل روش کرات ترکیب (MSM)^۳

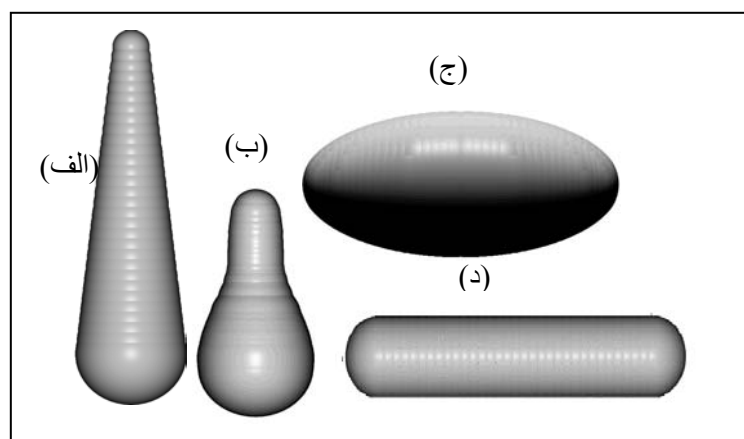
در این مقاله مدلی ارائه می‌شود که می‌تواند المان‌هایی تولید نماید که نسبت به دیگر مدل‌های ارائه شده (مثل مدل‌های دایره‌ای و بیضوی که تاکنون در زمینه شبیه سازی مواد دانه‌ای کشاورزی ارائه شده‌اند)، از نظر شکل بسیار نزدیک‌تر به دانه‌های محصولات کشاورزی باشند. المان‌های به کار رفته در اکثر مدل‌های ارائه شده در این زمینه کروی (دایره در مدل‌های دو بعدی) بوده‌اند. محاسبات مکانیکی مربوط به نیروهای تماسی بین این گونه شکل‌ها بسیار ساده است. لذا این مدل‌ها این مزیت را دارند که سرعت اجرای آنها نسبت به مدل‌های دارای المان‌های غیر کروی (مثلاً بیضوی یا چند وجهی) به مراتب بیشتر است. با وجود این، چون شکل واقعی بسیاری از محصولات دانه‌ای

1- Discrete Element Models

2- Time step

3- Multi-Sphere Method

تماس بین دو کره در نظر گرفت که سبب می‌شود الگوریتم مربوط تقریباً همان سادگی مدل‌هایی را داشته باشد که شکل المان‌های آن صرفاً کروی یا دایره‌ای است با این مزیت که شکل کلی المان‌ها در این مدل هر چیز دلخواهی نزدیک به شکل واقعی دانه‌ها خواهد بود. شکل شماره ۱ نمونه‌هایی از المان‌های ایجاد شده در این مدل را نشان می‌دهد.



شکل شماره ۱- نمونه‌هایی از شکل‌های سه بعدی ایجاد شده در مدل MSM شامل اجسامی: الف) مخروطی متشکل از ۳۰ کره، ب) شکل دلخواه متشکل از ۲۸ کره، ج) بیضی شکل شامل ۳۰ کره، و د) کپسولی شامل ۲۰ کره.

نیروی تماسی بین دو کره از دو دانه در حال تماس انجام می‌گیرد. در هر دانه، نیروهای تماسی تمام کرات تشکیل دهنده آن با کرات تشکیل دهنده دانه‌های مجاور محاسبه می‌شود و سپس این نیروهای تماسی به مرکز ثقل آن دانه منتقل می‌شوند. قابل ذکر است که اصولاً تماس بین کرات تشکیل دهنده هر دانه به صورت نیروهای داخلی است که در محاسبه برآیند نیروهای خارجی وارد بر دانه (مثل نیروهای حاصل از برخورد دانه‌ها با هم یا با دیواره‌ها) مد نظر نیست، لذا این گونه نیروها در مدل محاسبه نمی‌شوند.

در هر نقطه تماس بین دو کره از دو دانه در حال تماس، نیروی تماسی بر حسب دو مؤلفه عمود و مماس بر سطح تماس در آن نقطه محاسبه می‌شود

- محاسبات مکانیک تماس بین ذرات در مدل

در این مدل هر ذره (دانه) از تعدادی کره تشکیل می‌شود، اما این کرات اجسامی مستقل از هم در داخل مدل نیستند. هر یک از این کرات بخشی از پیکره یک دانه را تشکیل می‌دهد به طوری که وقتی بخش‌ها در کنار هم قرار می‌گیرند شکل کلی آن دانه در داخل مدل به دست می‌آید. تماس هر دانه با دانه‌ای دیگر از طریق بخش نمایان کرات تشکیل دهنده هر دانه است، با این پیش فرض که آن قسمت از هر کره که داخل کره دیگر فرو رفته و نمایان نیست قادر به تماس با کره‌ای دیگر نخواهد بود. بنابراین دانه‌ها در داخل مدل از طریق کرات تشکیل دهنده خود با همدیگر در تماس خواهد بود. لذا نیروهای تماسی بین دانه‌ها از طریق محاسبه

$$\mathbf{M}_p = \sum_{s=1}^S [(\mathbf{d}_{ps} \times \mathbf{f}_{ps}) + \mathbf{M}_{t_{ps}}] \quad (۴)$$

در این معادله، S تعداد کرات تشکیل دهنده هر دانه و $\mathbf{d}_{ps}$ فاصله بین مرکز ثقل دانه و مرکز هر کره تشکیل دهنده آن است. بر همین اساس برآیند کل نیروهای تماسی وارد بر هر دانه از طریق جمع برداری نیروهای وارد بر تمام کرات تشکیل دهنده هر دانه محاسبه می‌شود. با محاسبه برآیند نیروها و گشتاورهای وارد بر هر دانه با به کار بردن قانون دوم نیوتن، شتاب خطی (با توجه به شتاب ثقل یعنی g) و شتاب دورانی هر دانه در هر گام زمانی به صورت زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$\alpha_p = \frac{\mathbf{M}_p}{I_p} \quad \text{و} \quad \mathbf{a}_p = \frac{\mathbf{f}_p}{m_p} + \mathbf{g} \quad (۵)$$

در این دو رابطه، I_p ، m_p ، α_p و a_p به ترتیب جرم، ممان اینرسی، شتاب خطی، و شتاب دورانی دانه هستند.

- ایجاد سیستم شبیه سازی شده در مدل:

قبل از اجرای برنامه شبیه سازی که برنامه‌ای به زبان فرترن ۹۰ است، باید کلیه مشخصات سیستم از قبیل ابعاد اصلی سیستم در فضایی سه بعدی، تعداد کل دانه‌ها، تعداد کل دیواره‌ها و سطوح، تعداد کرات تشکیل دهنده و شعاع آنها در هر دانه، و موقعیت آنها نسبت به هم در داخل دانه مشخص شود. این گونه اطلاعات از طریق یک فایل ورودی و با استفاده از یک سری دستورهای قابل تشخیص توسط برنامه اصلی وارد می‌شود.

به طوری که برآیند این دو نیرو، کل نیروی تماسی وارد بر دانه در این نقطه خواهد بود، لذا:

$$\mathbf{f}_c = \mathbf{f}_n + \mathbf{f}_t \quad (۱)$$

در این رابطه، $\mathbf{f}_c$ ، $\mathbf{f}_n$ و $\mathbf{f}_t$ به ترتیب نیروی تماسی کل در نقطه مورد نظر، مؤلفه عمود بر سطح، و مؤلفه مماس بر سطح تماس هستند. مؤلفه مماسی نیروهای تماسی گشتاوری را حول مرکز کره مربوطه ایجاد می‌کنند که برآیند آنها برابر است با:

$$\mathbf{M}_{t_{ps}} = \sum_{c=1}^C (\mathbf{r}_{psc} \times \mathbf{f}_{t_{psc}}) \quad (۲)$$

که در آن، $\mathbf{f}_{t_{psc}}$ مؤلفه مماسی نیروهای تماسی در نقطه ای مثل c ، C تعداد کل نقاط تماس برای هر کره، و r_{psc} شعاع کره مورد نظر است. بر همین اساس، برآیند نیروی کل تماسی وارد بر هر کره برابر است با:

$$\mathbf{f}_{ps} = \sum_{c=1}^C \mathbf{f}_{psc} \quad (۳)$$

نقطه اثر این نیروها، در سطح خارجی کره است لذا در فرایندی محاسباتی به مرکز آن دایره منتقل می‌شوند. نیروهای منتقل شده به مرکز هر کره نیز گشتاوری حول مرکز ثقل دانه مربوط به خود ایجاد می‌کنند (آنهايي که خط اثر آنها از مرکز دانه نمی‌گذرد) که این مقدار به گشتاور محاسبه شده در اثر نیروهای مماسی (معادله شماره ۲) اضافه می‌شود و کل گشتاور اعمال شده بر هر دانه به صورت زیر قابل محاسبه است:

مانند نشان دهنده تحکیم و ثبات دانه‌ها در سیستم است. انتقال و جا به جایی مواد در سیستم عددی با اعمال شتاب در یک جهت خاص به دانه‌ها و یا با اعمال سرعتی معین بر سطوح نگهدارنده مواد (نقاله) تا هر زمان دلخواه که کاربر مشخص می‌کند کنترل می‌شود. برای اطلاعات بیشتر در مورد مشخصات برنامه، فلوچارت گردش کار و الگوریتم‌های به کار رفته در مدل، به منبع شماره ۲ مراجعه شود.

- پردازش داده و نتایج شبیه سازی

از این مدل عددی نتایج مختلف و متنوعی را کاربر می‌تواند در هر مرحله از شبیه سازی و در هر زمان دلخواه استخراج کند. در واقع این ویژگی از محاسن منحصر به فرد مدل‌های عددی است زیرا بسیاری از این نتایج را نمی‌توان از یک مدل فیزیکی مشابه استخراج کرد. بسته به هدفی که از شبیه‌سازی انتظار می‌رود، نتایج اخذ شده از مدل می‌تواند متفاوت باشد. برای مثال، می‌توان به مواردی همچون سرعت و موقعیت هر دانه که مورد نظر باشد (و یا تمام دانه‌ها) و تغییرات نیروی تماسی و جهت آن بین دو دانه و یا بین دانه‌ها و دیواره‌ها اشاره کرد. این نتایج می‌تواند با نرم افزار آماری مناسب و یا گرافیکی به نمایش درآید و پردازش شود. در مورد شبیه سازی سیستم‌های سه بعدی، دیدن حرکات دانه‌ها در فرایند شبیه سازی به صورت عکس و تصاویر متحرک یا انیمیشن اهمیت خاصی دارد. این مدل توانایی آن را دارد تا اطلاعات

خلق یا ایجاد دانه در مدل از طریق یک زیرروال و بر اساس داده‌های ارائه شده در فایل ورودی انجام می‌گیرد. در این زیرروال، امکان خلق دانه‌های کروی و غیرکروی، هر دو، وجود دارد. ابتدا دانه‌ها در فضای سه بعدی عاری از شتاب ثقل زمین و بدون تماس با هم به صورت غیر متراکم و به ترتیب خلق می‌شوند. با دادن اطلاعات یک دانه به مدل، اطلاعاتی مانند تعداد کرات در برگیرنده آن، اندازه هر کره، و فاصله نسبی کرات از هم در داخل دانه، مدل می‌تواند شکل کلی دانه را مشخص کند. در مورد دانه‌های غیرکروی جهت محور طولی هر دانه توسط یک الگوریتم به صورت اتفاقی تعیین می‌شود تا نمونه خلق شده حتی المقدور شبیه نمونه‌ای واقعی باشد. علاوه بر این، فاصله دانه‌ها از هم در این مرحله به گونه‌ای تعیین می‌شود که محور طولی هر دانه در هر جهتی که انتخاب شود با دانه‌های مجاور خود برخورد نکند. به منظور ایجاد یک سیستم حاوی مواد فله‌ای که شبیه یک سیستم واقعی باشد مجموعه دانه‌های خلق شده غیرمتراکم باید روی هم انباشته شوند و تحکیم یابند. مرحله ایجاد تحکیم دانه‌ها در مدل با اعمال شتاب ثقل بر سیستم انجام می‌گیرد. شتاب ثقل می‌تواند همان شتاب ثقل زمین یا هر مقدار دلخواه باشد ولی مقدار آن روی زمان تحکیم و پایداری سیستم عددی تأثیر دارد. پایان زمان تحکیم بر اساس شاخص تعداد نقاط تماس بین دانه‌ها در سیستم تعیین می‌شود، به طوری که هر وقت این شاخص نسبت به زمان ثابت باقی

را به صورت فایل های متنی^۱ قابل خواندن اتوماتیک با برنامه هایی مثل اتوکد و پاور^۲ ارائه کند. این فایل ها پس از اینکه با توالی مناسب زمانی تبدیل به فایل های گرافیکی شدند به نرم افزارهای انیمیشن ساز مثل جیف انیمیتور^۳ منتقل و به فایل هایی با تصاویر متحرک و با فرمت GIF و یا AVI تبدیل می شوند. بررسی ها نشان می دهد که فایل های متنی ایجاد شده در مدل، با سرعت بسیار کوتاهی در حد ثانیه (حتی برای تصاویری که حاوی چند ده هزار دانه بودند) به یک نرم افزار پاور^۲ به فایل های گرافیکی تبدیل می شود در حالی که نرم افزار اتوکد در این گونه مواقع به دلیل نیاز به حافظه موقت بسیار بالا قادر به این کار نیست یا مدت زمان اجرای آن برای تصاویر حاوی تعداد محدودی دانه، متجاوز از یک ساعت خواهد بود [۲].

- ارزیابی مدل

میزان دقت روش هایی مثل مدل های DEM در پیش بینی رفتار دینامیکی مواد واقعی بستگی به دو عامل مهم دارد: اول درجه صحت معادلات مکانیک تماس بین دانه ها در مقیاس دانه ای^۴ و دوم سینماتیک دانه ها در مقیاس کل سیستم^۵. بررسی میزان اثر عامل دوم در دقت نتایج حاصل از مدل، از طریق مقایسه نتایج به دست آمده از مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی مدل فیزیکی کاملاً مشابه باید انجام گیرد. درحالی که اثر عامل اول را می توان به صورت نظری - تحلیلی^۶ بررسی کرد. بنابراین به منظور

ارزیابی مدل عددی از نقطه نظر صحت منطقی الگوریتم ها در محاسبه نیروهای تماسی و موقعیت لحظه ای دانه ها شبیه سازی های متعددی انجام گرفت. در این شبیه سازی ها، مواردی مقایسه شدند مثل: محاسبه وزن دانه در مدل از طریق محاسبه نیروی تماس دانه با سطح تماس، محاسبه نیروی تماسی و تغییرات آن در هنگام برخورد دانه در اثر سقوط آزاد روی سطح، سرعت حرکت و موقعیت دانه در هنگام لغزش روی سطح شیب دار با ضرایب اصطکاک معین، و چرخش دانه در اثر اعمال خارج از مرکز یک نیروی خارجی بر دانه. در تمام این موارد نتایج به دست آمده از مدل با مقادیر تئوری آن مقایسه شد. برای مثال، نیروی تماس بین ذره و سطح با نیروی وزن آن، و لغزش دانه روی سطح با مقدار تئوری آن از طریق مکانیک لغزش مواد مورد مقایسه قرار گرفت. در تمام موارد فوق تأثیر دو عامل گام زمانی و ضریب میرایی^۷ روی میزان دقت نتایج حاصل از مدل بررسی شد. نتیجه این بررسی ها نشان می دهد که به طور متوسط میزان خطای مدل بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۲ درصد برای شبیه سازی حرکت مواد روی سطوح مختلف و ۰/۰۷ درصد در شبیه سازی برخورد دانه در سقوط آزاد روی یک سطح بوده است [۱].

ارزیابی های نظری فوق شواهد لازم را در مورد صحت الگوریتم ها در مدل ارائه می کنند اما این موارد نمی توانند ثابت کنند که میزان دقت این مدل در پیش بینی رفتار دینامیکی موادی با خصوصیات

1- Script file
4- Micro-scale
7- Damping coefficient

2- PovRay
5- Macro-scale

3- GIF Animator
6- Analytical

کروی (۲۰۰ عدد) ایجاد و مواردی مثل ساختار بستر دانه^۳ در مدل، شدت جریان خروج دانه از سیستم، شکل خروج مواد از دهانه خروجی، و پروفیل سرعت دانه‌ها در سیستم مقایسه شدند. در کلیه موارد، همخوانی مناسبی بین نتایج به دست آمده از مدل عددی و مدل فیزیکی مشاهده شد [۲].

۴) کاربرد مدل در فراوری محصولات کشاورزی

هدف از این بخش نشان دادن توانایی‌های مدل Multi-Sphere یا MSM در شبیه‌سازی انتقال و فراوری مواد کشاورزی و صنعتی در وضعیت‌های مختلف است. بدین منظور مثال‌هایی از کاربرد این مدل در سیستم‌هایی ارائه می‌شود که حاوی دانه‌های غیر کروی و یا کروی هستند. در هر مثال دانه‌هایی غیر کروی با شکل‌های دلخواه و با تقارن محوری در یک فضا یا سیستمی با شکل هندسی دلخواه به صورت عددی ایجاد شد. این سیستم‌ها شبیه سیستم‌هایی هستند که در فراوری و انتقال محصولات کشاورزی از آنها استفاده می‌شود.

- شبیه‌سازی سقوط میوه

سقوط میوه و سبزی از مسائلی است که می‌توان گفت اگر نه در تمام مراحل فراوری بلکه در اکثریت قریب به اتفاق آنها رخ می‌دهد. مطالعه رفتار حرکتی جسم در حین سقوط و میزان نیروی وارد بر آن می‌تواند اطلاعات مفیدی در جهت جلوگیری از له شدن آنها فراهم کند. در این مثال، یک جسم غیر کروی با پروفیل طولی نامنظم دلخواه (شبیه بسیاری از میوه‌ها مثل گلابی، بادمجان و ...) مطابق شکل شماره ۲ ایجاد شد.

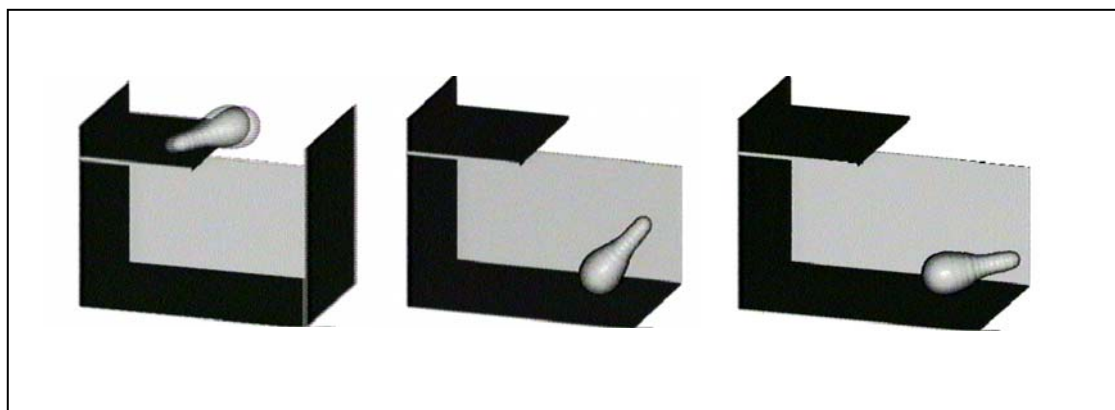
فیزیکی مشخص چه مقدار است. بدین منظور، آزمایش‌هایی در جهت ارزیابی کارایی مدل در پیش بینی رفتار سیستمی حاوی مواد واقعی در دو مقیاس دانه‌ای و مقیاس توده‌ای کل سیستم انجام گرفت. در ارزیابی مقیاس دانه‌ای، سیستمی با تعدادی محدود (۱۰ عدد) دانه غیر کروی به صورت فیزیکی ساخته شد و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مورد نیاز مدل (مثل ضریب اصطکاک و ضریب میرایی) برای دانه‌ها اندازه‌گیری و مدول الاستیسیته و ضریب پواسون با توجه به جنس دانه‌ها از سایت اینترنتی خواص مواد^۱ استخراج شد. با مکانیزمی متحرک، دانه‌ها به صورت کنترل شده در داخل سیستم حرکت داده شد و دوربین فیلم برداری حرکت آنها را ضبط کرد. در مرحله بعد به کمک نرم افزار تصاویر برداشت شده با دوربین تبدیل به تصاویر دیجیتالی^۲ و هر فریم (تصویر) به یک فایل گرافیکی تبدیل شد. با استفاده از این فایل‌ها مختصات X ، Y ، Z و میزان دوران هر دانه به فواصل زمانی $0/0005$ ثانیه تعیین شد. سیستمی شبیه سیستم فوق به صورت عددی در مدل نیز ایجاد و مختصات هر دانه و دوران آن نیز از مدل استخراج و با مقادیر به دست آمده از مدل فیزیکی مقایسه شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج نشان داد که بیشترین همخوانی بین نتایج مدل فیزیکی برابر ۹۲ درصد، کمترین آن ۷۷ درصد و متوسط آن ۸۲ درصد است.

به منظور ارزیابی مدل در مقیاس توده‌ای مجدداً دو مدل فیزیکی و عددی مشابه، با تعدادی دانه غیر

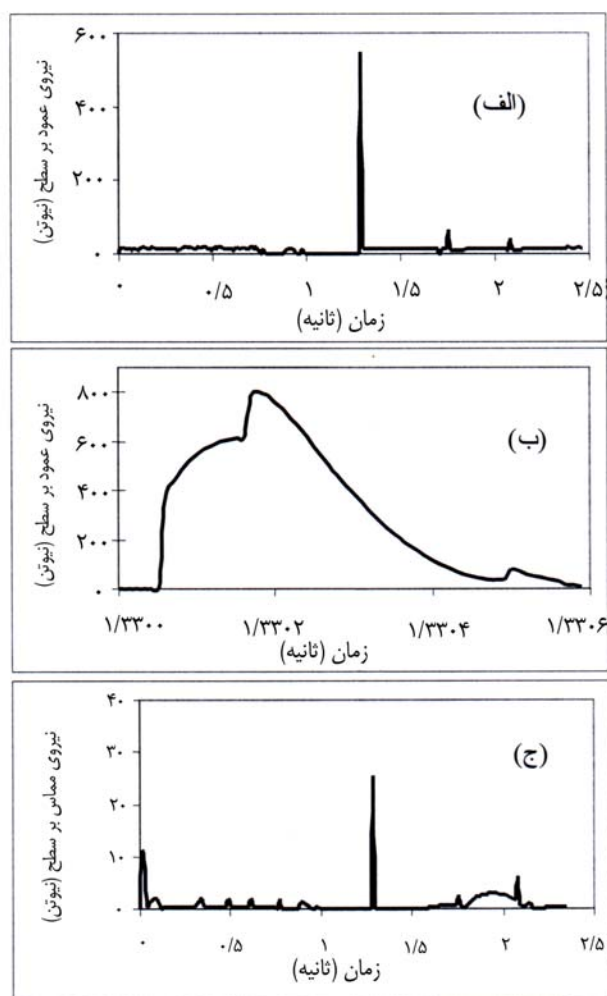
1- <http://www.measurementsgroup.com/>

3- Bed Structure

2- Frame grabber



شکل شماره ۲- سه تصویر متوالی بر گرفته شده از انیمیشن تهیه شده از سقوط یک جسم بر اساس نتایج مدل MSM



شکل شماره ۳- نیروی عمودی و مماسی وارد بر جسم در فرایند سقوط روی سطح، تهیه شده بر اساس نتایج مدل MSM

نشان می‌دهد که حداکثر نیروی ضربه در این دو شکل از نظر مقدار متفاوت است؛ در شکل الف اطلاعات به فاصله ۵۰ گام زمانی برداشت شده است لذا بخشی از اطلاعات به دلیل گسسته بودن برداشت از دست رفته است و همان‌طور که گفته شد در این حالت مقادیر دقیق مربوط به شکل ب خواهد بود. شکل الف می‌تواند برای تعیین محل و زمان بزرگترین برخورد مورد توجه قرار گیرد.

شکل شماره ۳ ج نیروهای مماسی (مالشی) وارد بر جسم از طرف نقاله‌ها را نشان می‌دهد. این نیروها باعث خراشیده شدن جسم به خصوص به هنگامی است که بیشترین ضربه به جسم وارد می‌شود زیرا حداکثر نیروی مماسی (اصطکاک) تابعی از نیروی عمودی است. با مقایسه شکل ۳ الف با ۳ ج مشاهده می‌شود که بیشترین نیروی عمودی درست در جایی است که نیروی مماسی نیز حداکثر بوده است. این نمونه شبیه سازی نشان می‌دهد که این مدل در زمینه مطالعه نیروی ضربه و له شدن میوه‌هایی که حتی شکل غیر کروی دارند، کاربرد جالب توجهی می‌تواند داشته باشد.

– شبیه‌سازی حرکت مواد

انتقال مواد با نقاله‌های تسمه‌ای یکی از روش‌های متداول در انتقال مواد دانه‌ای در کشاورزی است. در این مثال، رفتار مواد هنگام سقوط روی نقاله در حال حرکت بررسی می‌شود. در این حالت شکل در نظر گرفته شده برای اجسام در داخل سیستم مخروطی است. این گونه شکل‌ها می‌تواند برای شبیه‌سازی حرکت محصولاتی مثل چغندر قند یا هویج استفاده شوند. هدف اصلی از ارائه این مثال

این جسم از طریق اتصال، ادغام، و هم پوشانی ۱۵ کره با اندازه‌های مختلف به گونه‌ای در کنار هم چیده شده‌اند تا شکل مورد دلخواه ایجاد شود.

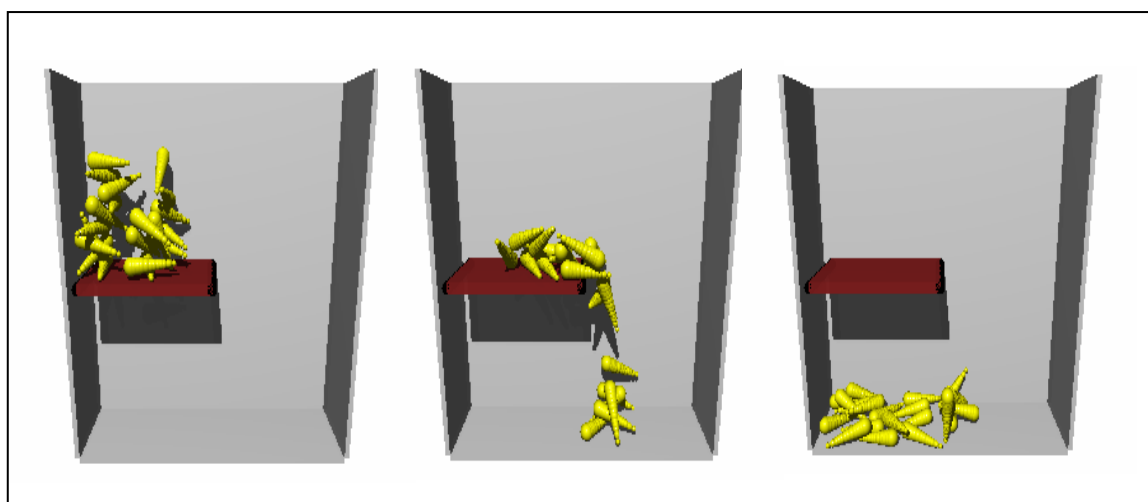
فضای محصور کننده سیستم متشکل از دیواره‌های نگهدارنده عمودی و دو نقاله افقی است. نقاله بالایی به سمت چپ و نقاله کف به سمت راست حرکت می‌کند. همان‌طور که در سه تصویر متوالی از حرکت جسم مشاهده می‌شود مدل عددی به خوبی توانسته است چرخش جسم را در حین سقوط در یک سیستم سه بعدی شبیه سازی کند. هنگام سقوط مواد ویسکوالاستیک حداکثر نیروی عمودی در لحظه اولین برخورد در جسم ایجاد خواهد شد و سپس با توجه به خصوصیات ویسکوالاستیک جسم (ضریب میرایی) و میزان ارتجاعی بودن آن، چندین مرتبه بالا پایین می‌شود و سپس به حالت تعادل می‌رسد. شکل شماره ۳ نمونه‌ای از اطلاعاتی را نشان می‌دهد که مدل می‌تواند ارائه کند. شکل شماره ۳ الف تغییرات نیروی عمودی وارد بر جسم را قبل، در حین، و پس از سقوط نشان می‌دهد. این اطلاعات به فاصله زمانی ۰/۰۰۰۵ (پنج ده هزارم) ثانیه (هر ۵۰ گام زمانی) اخذ شده است

به منظور بررسی دقیق‌تر نیروی ضربه وارد بر جسم در اولین برخورد، اطلاعات مربوط به این نیرو به صورت دقیق‌تر و به صورت برداشت اطلاعات به فاصله یک گام زمانی (10^{-5} ثانیه) در شکل شماره ۳ ب نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این نمودار اطلاعات بسیار دقیقی از نحوه تغییرات نیروی ضربه وارد بر جسم را نشان می‌دهد. مقایسه شکل شماره ۳ الف با ۳ ب

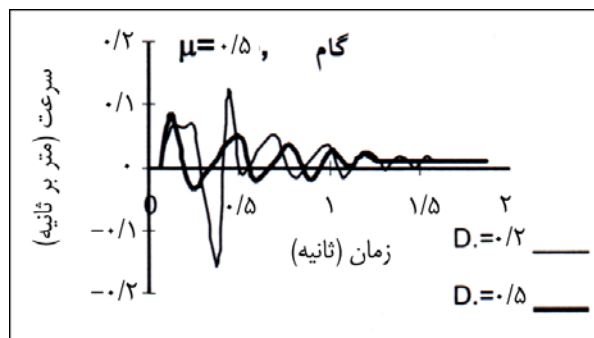
مثال، شکل شماره ۵ رفتار یکی از اجسام را هنگام سقوط روی نقاله در حال حرکت نشان می‌دهد. در این شکل نشان داده شده است که چگونه تغییر ضریب میرایی بر نحوه حرکت جسم اثر خواهد داشت. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش ضریب میرایی بین جسم و سطح، حرکت جست و خیزی جسم کاهش می‌یابد و روی نقاله سریع‌تر به حالت پایدار خود می‌رسد. این موضوع اهمیت پوشش نرم روی سطوح را برای میوه‌های با بافت نرم‌تر به خوبی بیان می‌کند. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است نهایتاً سرعت نسبی بین جسم و نقاله از بین می‌رود و با سرعتی برابر سرعت نقاله (۰/۰۱ متر بر ثانیه) حرکت خواهد کرد.

نشان دادن قابلیت این مدل در شبیه‌سازی سیستم‌های کاملاً سه بعدی با تعداد زیادی جسم است. سیستم متشکل از یک نقاله در بالا با حرکت یکنواخت ۰/۰۱ متر بر ثانیه به سمت راست و نقاله‌ای در کف با حرکت به سمت چپ و ۲۰ جسم مخروطی شکل است. هر جسم متشکل است از ۱۳ کره با قطرهای مشخص به طوری که نهایتاً شکلی مخروطی برای آنها ایجاد شود. اجسام ابتدا در بالای نقاله بالایی ایجاد و سپس روی نقاله ریخته شده‌اند (شکل شماره ۴).

هرگونه اطلاعاتی در زمینه سرعت حرکت تک تک اجسام و نیروهای وارد بر آنها از طرف دیگر اجسام یا سطوح مختلف (شبیه آنچه در مثال قبل مشاهده شد) به سهولت امکان پذیر است. برای



شکل شماره ۴- سه تصویر متوالی از شبیه‌سازی حرکت مواد با نقاله. حرکت نقاله بالایی به سمت راست و نقاله کف به سمت چپ در نظر گرفته شده است.

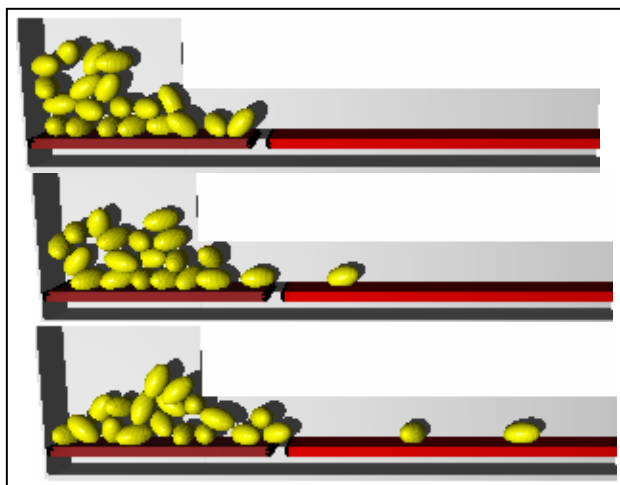


شکل شماره ۵- پیش بینی رفتار جسم هنگام سقوط روی نقاله در حال حرکت بر حسب تغییرات سرعت حرکت افقی جسم برای دو ضریب میرایی (D) مختلف.

بیضی دلخواه و تعداد کرات تشکیل دهنده جسم، قطر هر کره و مرکز آن را در داخل جسم به گونه‌ای مشخص کند که سطح خارجی جسم تشکیل دهنده بر بیضی موردنظر محاط باشد. مکانیزم تک‌سازی در این مثال متشکل از دو نقاله افقی با حرکتی هم جهت ولی با مقادیر مختلف است به‌طوری‌که سرعت نقاله اولی کمتر از سرعت نقاله دوم باشد. مواد در ابتدا روی نقاله اولیه کم سرعت به‌صورت درهم ریخته می‌شوند و با این نقاله به طرف نقاله ثانویه پر سرعت هدایت می‌شوند که در مجاورت آن قرار گرفته است. هر جسمی که زودتر با نقاله ثانویه برخورد کند سرعت آن بیشتر می‌شود و به صورت عضوی مجزا از دیگر مواد جدا می‌شود.

- شبیه‌سازی برای تک‌سازی میوه‌ها و سبزی‌ها

واژه تک‌سازی برای فرایندی به کار می‌رود که طی آن میوه‌ها (یا هر محصول دانه‌ای دیگر) از حالت فله‌ای نامنظم به صورت اجزای ناپیوسته و منظم به صف در می‌آیند [۶]. این کار یکی از عملیات معمول قبل از فرایندهایی مثل بازرسی و بسته‌بندی محصول است. در این مثال، ۲۰ عدد جسم بیضوی (مناسب شبیه‌سازی محصولات جالیزی) به صورت توده‌ای درهم (فله) ایجاد شد. هر جسم با ادغام ۱۵ کره با اندازه مختلف به گونه‌ای در کنار هم قرار گرفتند تا سطح خارجی آنها محاط بر یک بیضی دلخواه شود. بدین منظور الگوریتمی تهیه شد که کاربر را قادر می‌سازد تا با مشخص کردن اقطار کوچک و بزرگ



شکل شماره ۶- سه تصویر متوالی از شبیه‌سازی مدل MSM در تک‌سازی محصولات کشاورزی

امکان شبیه‌سازی سیستم‌هایی با ماهیت منفصل (اکثر محصولات کشاورزی) را فراهم می‌سازد. این مدل مبتنی است بر روش المان‌های مجزا DEM متتها با این ویژگی منحصر به فرد که قادر است اجسامی (دانه‌هایی) در مدل ایجاد نماید که شکلی غیر کروی دارند و مناسب شبیه‌سازی محصولات کشاورزی باشند. بررسی منابع نشان می‌دهد که مدل‌هایی با این ویژگی هنوز معرفی نشده‌اند. نتایج ارزیابی تحلیلی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد که اولاً این مدل به خوبی فرموله شده است و الگوریتم‌های آن می‌توانند به‌طور اتوماتیک دانه‌های در حال تماس را تشخیص دهند، نیروهای تماسی را محاسبه کنند و بر اساس برآیند نیرو و گشتاور وارد بر هر دانه در هر گام زمانی شتاب، سرعت، و موقعیت هر دانه را به روز کنند. مضافاً اینکه چنانچه خصوصیات مواد به خوبی اندازه‌گیری و به مدل داده شود این مدل قادر است با دقت قابل قبولی رفتار آن مواد را پیش‌بینی کند.

به‌منظور نشان دادن توانایی بالقوه مدل در شبیه‌سازی رفتار محصولات کشاورزی، چند مثال

عواملی مثل سرعت مطلق و نسبی نقاله‌ها، ضریب اصطکاک بین محصول و نقاله اولیه و ثانویه، و حجم مواد جا به جا شده از عواملی هستند که بر کیفیت جداسازی و مقدار نیروی سایش (خراشیدگی میوه‌ها) تأثیر می‌گذارند. در یک مدل عددی، تکرار فرایند شبیه‌سازی جهت بررسی اثرهای عوامل فوق تنها با تغییر مقادیر آنها در مدل به سهولت انجام می‌گیرد حال آنکه در سیستم‌های فیزیکی وقت و هزینه زیادی باید به این منظور صرف شود. نمونه‌ای از نتایج شبیه‌سازی برای این گونه عملیات تک‌سازی در شکل شماره ۶ نشان داده شده است. در این شکل، سه تصویر با توالی زمانی مناسب مشاهده می‌شود که نشان دهنده اجسام جدا شده از محصول فله است.

۵- نتیجه‌گیری:

با توجه به گسترش روز افزون کامپیوتر و روند فوق العاده افزایش سرعت در آنها، امکان انجام تحقیقات بر پایه شبیه‌سازی عددی نیازمند به محاسبات بسیار زیاد و سیکلی را فراهم کرده است. هدف اصلی از ارائه این مقاله معرفی مدلی است که

مختلف به علاوه نمونه اطلاعات قابل استخراج از مدل ارائه شد. این مثال‌ها به خوبی نشان می‌دهند که این مدل قادر است طیف وسیعی از عملیات مختلف را در فرایندهای پس از برداشت محصولات مختلف کشاورزی شبیه‌سازی کند. از آنجا که روش‌های آزمایشگاهی و نیز مدل‌های عددی روش‌هایی ایده آل در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی نیستند و هر یک نقاط ضعف خاصی دارد، پیشنهاد می‌شود در کنار روش‌های آزمایشگاهی روش‌های شبیه‌سازی عددی نیز مورد توجه قرار گیرد تا این دو بتوانند اطلاعات بیشتر و دقیق‌تری را از رفتار مواد ارائه دهند. برای مثال، از روش‌های آزمایشگاهی می‌توان برای اندازه‌گیری خواص مختلف فیزیکی و مکانیکی مواد استفاده کرد و از این نتایج به عنوان ورودی‌های مورد نیاز مدل‌های عددی بهره گرفت.

۶- مراجع:

- 1- Abbaspour-Fard, M. H. 2004. Theoretical validation of a multi-sphere, discrete element model suitable for biomaterials handling simulation. *Biosystems Engineering*. 88 (2): 153-161.
- 2- Abbaspour-Fard, M. H. 2001. Discrete element modeling of the dynamic behaviour of non-spherical particulate materials. Ph.D. Thesis, University of Newcastle upon Tyne.
- 3- Brown, G. K., Pason, N. L. S., Timm, E. J., Burton, C. L., and Marshal, D. E. 1990. Apple packing line Impact damage reduction. *Applied Engineering in Agriculture* 6, 759-764.
- 4- Chen, P., and Yazdani, R. 1991. Prediction of apple bruising due to impact on different surfaces. *Trans. of the ASAE* 34, 956-961.
- 5- Foutz, T. L., and Thompson, S. A. 1993. Comparison of loading response of packed grain and individual kernel. *Trans. of ASAE* 36, 569-576.
- 6- McRae, D. C., Melrose, H., and Fleming, J. 1995. Evaluation of the performance of a Singulator for potatoes. *Potato Research* 38, 53-60.
- 7- Ng, T. T., and Dobry, R. 1994. Numerical simulation of monotonic and cyclic loading of granular soils. *Journal of Geotechnical Engineering* 120, 388-403.
- 8- Ooi, J. Y., Chen, J. F., and Rotter, J. 1998. Measurement of solids flow patterns in a gypsum silo. *Powder Technol* 99, 272-284.
- 9- Peleg, K. 1986. Simulation of vibration damage in produce transportation. *Trans. of ASAE* 29, 633-641.
- 10- Rong, G., Negi, S. C., and Jofriet, J. C. 1995. Simulation of the flow behaviour of bulk solids in bins, Part 1: Model development and validation. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 62, 244-256.
- 11- Ting, J., Meachum, L. R., and Rowell, J. D. 1995. Effect of particle shape on the strength and deformation mechanism of ellipse shape granular assemblies. *Engineering Computations* 12, 99-108.

Numerical Simulation of the Dynamic Behaviour of Agricultural Particulate Materials Using a Suitable Discrete Element Model

M. H. Abbaspour Fard

One of the most important factors in the accuracy of a DE model is the shape of elements in the model. Currently circular shape (spherical in 3-D) is the common approach for the simulation of particulate bio-material. As the real shapes of these particles are mostly non-spherical, these models can not accurately represent the behaviour of a system comprising some real particles. In this paper a new model is introduced which can generate and simulate arbitrary non-spherical particles suitable for the simulation of fruits and vegetables which are not spherical. The results obtained from the analytical validation of the model showed 0.07% error which indicates that, formulas and the algorithms were well implemented in the model. The experimental validation of the model also showed that the model could predict the behavior of a physical system with 82% accuracy. Consideration of both the analytical and experimental validations of the model showed that on the whole the match between experiments and simulations were very good given the noise introduced by physical replication of the particle assembly and the variation in physical particle geometry and the hopper structure. To demonstrate the capability of the model some simulation examples have been presented. In these examples different particle shapes have been used in some systems typical of most agricultural system operations. The snapshots obtained from the simulations indicate that the Multi-sphere model can be a promising technique for the simulation of particulate bio-materials problems.

Key words: Discrete Elements, Dynamic Behaviour, Numerical Modeling, Particulate Materials

بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد ترک و خرده برنج در اثر خشک کردن

شلتوک طی فرآیند تبدیل^۱

سعید مینایی، غلامرضا روحی و محمد رضا علیزاده^۲

۱- چکیده:

شلتوک یکی از غلات عمده است که پیش از انبارداری و در ابتدای فرآیند تبدیل نیاز به خشک کردن دارد. بخش مهمی از ضایعات برنج (بروز ترک‌های اولیه)، در مرحله خشک کردن روی می‌دهد. برای مطالعه تأثیر عوامل مختلف بر ضایعات برنج در هنگام خشک کردن، فرآیند خشک کردن دو رقم شلتوک بررسی شد. آزمایش در قالب طرح آماری کورت‌های دوبار خرد شده با چهار پارامتر: رقم شلتوک (بینام و کاظمی)، دمای هوای خشک کن (در سه سطح ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نهایی شلتوک بر اساس وزن تر (در سه سطح ۱۰، ۱۲، ۱۴ درصد) و ضخامت لایه شلتوک در مخزن خشک کن (در سه سطح ۱۰-، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰ سانتی‌متر)، اجرا شد تا اثرات اصلی و همچنین اثر متقابل پارامترهای مذکور بر میزان ترک ایجاد شده طی خشک کردن و درصد خرده برنج پس از تبدیل بررسی شود. طی این تحقیق مشخص شد که رقم کاظمی نسبت به رقم بینام حساسیت بیشتری به عوامل ایجاد ترک دارد. همچنین میزان برنج خرد شده پس از تبدیل برای رقم کاظمی بیشتر از رقم بینام است. طبق بررسی‌های آماری، دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد هوای خشک‌کن، دمای مناسبی برای خشک کردن شلتوک از نظر میزان ترک ایجاد شده در این مرحله و کاهش خرده برنج پس از تبدیل است. رطوبت مناسب شلتوک برای اجرای عملیات تبدیل این دو رقم، ۱۴ درصد تشخیص داده شد. با افزایش ضخامت لایه شلتوک درون مخزن خشک‌کن، میزان ترک و خرده برنج ایجاد شده به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

۲- واژه‌های کلیدی:

درصد ترک، درصد خرده برنج، دمای هوای خشک‌کن، رطوبت نهایی دانه، شلتوک.

۱- برگرفته از تحقیق مستقل

۲- به ترتیب عضو هیأت علمی گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی - دانشگاه تربیت مدرس. تلفن: ۰۲۱) ۱۴۹۶۴۰۷، دورنگار:

۴۱۹۶۵۲۴ (۰۲۱)، پیام‌نگار: minae7@hotmail.com کارشناس ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی و عضو هیأت علمی بخش

فنی و مهندسی مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت.

۳- مقدمه:

درصد افزایش می‌دهد. خوشحال و مینایی (۱۳۸۲)،

ضمن طراحی و ساخت یک خشک‌کن عمودی لایه نازک و مقایسه عملکرد آن با خشک‌کن سستی متداول، نتیجه گرفتند که استفاده از خشک‌کن جدید به جای دستگاه‌های سستی، سبب ۳۱ درصد کاهش مصرف انرژی، ۱۸ درصد کاهش مصرف ویژه سوخت، ۵۷ درصد کاهش زمان خشکاندن، و کاهش بیش از ۲۹ درصد ضایعات می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که دما و زمان خشکاندن (نسبت به سایر پارامترهایی مثل سرعت هوا، رقم، و رطوبت اولیه محصول) بیشترین اثر را بر ترک خوردگی دانه برنج دارد [۱۴]. در ارتباط با ترک خوردن دانه باید گفت که این حالت هنگامی رخ می‌دهد که تنش حاصل از تغییرات رطوبت، از مقاومت کششی دانه تجاوز کند [۱۳]. تحقیقات وایست و همکاران (Wiset, et al., 2001) نشان می‌دهد که خشک کردن شلتوک با خشک‌کن بستر سیال، نسبت به خشک‌کن بستر ثابت، ضایعات کمتری ایجاد می‌کند. جولیانو (Juliano, 1985) با توجه به تحقیقات مختلف، رطوبت نهایی مناسب را برای تبدیل ۱۴ درصد می‌داند.

با توجه به اهمیت اقتصادی ضایعات برنج، بررسی راه‌های کاهش ضایعات در عملیات پس از برداشت محصول برنج، به ویژه در مرحله خشک کردن قبل از تبدیل شلتوک به برنج سفید، اهمیت بالایی دارد. لذا در این تحقیق علاوه بر تأثیر رقم و رطوبت نهایی شلتوک، اثر دمای هوای خشک‌کن و عمق قرارگیری شلتوک درون محفظه خشک‌کن نیز بر میزان افزایش ترک برنج قهوه‌ای و برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل بررسی شد.

برنج یکی از مهم‌ترین اقلام غذایی در جهان است. میلیون‌ها نفر از آن به عنوان غذای اصلی و یا یکی از غذاهای اصلی استفاده می‌کنند. در کشور ما نیز برنج بعد از گندم، ماده اصلی غذای مردم را تشکیل می‌دهد و با توجه به افزایش جمعیت و محدودیت‌های افزایش سطح زیرکشت این محصول، یکی از مهم‌ترین راهبردها، تلاش برای کاهش ضایعات در عملیات تبدیل شلتوک به برنج سفید است.

تحقیقات نشان می‌دهد که در بازارهای جهانی در صورت وجود خرده برنج در محصول عرضه شده برای فروش، قیمت آن با توجه به شرایط تا یک دهم برنج مرغوب کاهش می‌یابد [۹]. یکی از مراحل تولید برنج خشک کردن شلتوک است که از نظر ایجاد ضایعات مرحله مهمی به شمار می‌آید. تنش‌های وارد شده به دانه برنج در این مرحله و ترک‌های ایجاد شده، از نظر میزان خرده برنج تاثیر زیادی در کیفیت برنج سفید حاصل دارد. نتایج تحقیقات عارفی و همکاران (۱۳۷۳) نشان می‌دهد که به کارگیری دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد برای خشکاندن شلتوک ارقام آمل ۳ و هراز به دلیل کاهش میزان خرده برنج، نسبت به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد مناسب‌تر است. کیانمهر (۱۳۸۰)، تحقیقی با عنوان بررسی عوامل مؤثر فیزیکی در ترک خوردگی شلتوک در خشک‌کن با جریان معکوس شونده انجام داد. وی نتیجه گرفت که زمان خشک شدن محصول فقط بستگی به دمای هوای ورودی به خشک‌کن دارد و متأثر از سایر عوامل همچون وارسته و جهت جریان نیست و نیز افزایش دما از ۳۵ به ۶۵ درجه سانتی‌گراد، میزان ترک خوردگی را ۴۵

۴- مواد و روش‌ها:

- مواد:

در این تحقیق از دو رقم شلتوک بینام و علی کاظمی (۱۵۰ کیلوگرم از هر رقم) استفاده شد. سایر مواد و وسایل مورد استفاده عبارت بودند از:

خشک کن آزمایشگاهی (بستر ثابت) ساخت هیتاچی^۱ ژاپن، رطوبت سنج الکترونیکی مدل GMK-303RS ساخت کره (با دقت ۰/۱ بر پایه‌تر)، ترک بین نوری، پوست کن آزمایشگاهی غلتک لاستیکی ساخت ساتاکه^۲ ژاپن و سفیدکن آزمایشگاهی ساخت بالدور^۳ آمریکا (ظرفیت ۱۰۰ تا ۱۲۰ گرم برنج قهوه‌ای).

برای خشک کردن نمونه‌ها و رساندن رطوبت آنها به سطوح مورد نیاز، خشک کن آزمایشگاهی از نوع ثابت بستر افقی به کار گرفته شد (شکل شماره ۱). سه قسمت اصلی این دستگاه عبارت اند از:

جعبه های شلتوک، محفظه هوای گرم، و مشعل. بیست جعبه به ابعاد ۱۰×۲۰×۳۰ سانتی متر مربع که ظرفیت هر یک حدود ۳/۵ کیلوگرم است در این دستگاه وجود دارد. مشعل خشک کن، نفت سوز است و با یک دمنده، گرمای حاصل از سوختن نفت را به درون محفظه هوای گرم (مخزن) که زیر جعبه های شلتوک واقع است، غیرمستقیم می دمد و موجب به جریان افتادن هوای گرم از لایه های شلتوک می شود. دمای درون محفظه با دماسنجی اندازه گیری می شود که در بدنه آن نصب شده است. با شیر تنظیم سوخت می توان دمای هوا را تغییر داد. ترک بین و پوست کن در دانشگاه تربیت مدرس ساخته شده و عملکرد آن مورد تأیید قرار گرفته بود^۲ [۲]. آزمایش ها در تابستان ۱۳۸۰ و در مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد.



شکل شماره ۱- خشک کن نوع ثابت بستر افقی آزمایشگاهی

1- Hitachi

2- Satake

3- Baldor

- برای کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه به مرجع شماره ۲ مراجعه شود.

- روش‌ها:

فرآیند خشک کردن شلتوک در قالب طرح آماری کرت‌های دوبار خرد شده با چهار عامل: دمای هوای خشک کن (عامل اصلی) در سه سطح ۴۰، ۵۰، و ۶۰ درجه سانتی‌گراد، رقم شلتوک (عامل فرعی اول) علی‌کاظمی و بینام، رطوبت نهایی شلتوک (عامل فرعی دوم) در سه سطح ۱۰، ۱۲، و ۱۴ درصد بر پایه تر، و ضخامت لایه شلتوک در مخزن (عامل فرعی سوم) در سه سطح ۰-۱۰، ۱۰-۲۰، و ۲۰-۳۰ سانتی‌متر در سه تکرار اجرا شد. از هر رقم چهار نمونه ۲۰۰ گرمی شلتوک به طور تصادفی انتخاب و از آنها برای اندازه‌گیری رطوبت و درصد ترک اولیه استفاده شد. برای اندازه‌گیری رطوبت اولیه شلتوک، ۵ گرم شلتوک (موجود در نمونه‌ها) در محفظه رطوبت سنج الکترونیکی قرار داده شد و با اجرای چهار تکرار مقدار رطوبت اولیه برای رقم‌های کازمی و بینام به ترتیب ۱۵ درصد و ۱۵/۵ درصد به دست آمد. برای اندازه‌گیری درصد ترک اولیه دانه برنج (قبل از خشک کردن)، از هر نمونه ۲۰۰ گرمی، پوست تعدادی شلتوک جدا گردید و از آنها ۵۰ عدد برنج قهوه‌ای کامل انتخاب و روی دستگاه ترکیب قرار داده شد. تعداد دانه‌های دارای ترک تعیین و با استفاده از روش تناسب، درصد ترک اولیه مشخص شد. با اجرای چهار تکرار، مقدار ترک اولیه برای رقم کازمی ۲۴ درصد و برای رقم بینام ۱۲ درصد محاسبه شد. پس از به دست آوردن اطلاعات اولیه، محصول برای خشک کردن آماده سازی شد.

در ابتدا روی جعبه‌های خشک‌کن، عمق‌های

۱۰، ۲۰، و ۳۰ سانتی‌متری مشخص شد تا در هنگام نمونه‌برداری مشکلی پیش نیاید. در آزمایش نخست، دمای خشک‌کن روی ۶۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. تعداد ۹ جعبه با شلتوک رقم کازمی و ۹ جعبه دیگر با رقم بینام تا ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری پر و به طور تصادفی در خشک‌کن جاگذاری شدند. دو جعبه باقیمانده نیز با شلتوک اضافی پر شد تا پارامترهای مؤثر بر خشک کردن مانند دمای هوا ثابت باشد. پس از شروع عملیات خشک‌کنی، رطوبت شلتوک‌های سطح بالایی جعبه‌ها هر ۱۰ دقیقه یک بار با رطوبت سنج الکترونیکی تعیین می‌شد. وقتی رطوبت شلتوک‌ها به ۱۴ درصد رسید، از آنها نمونه‌گیری شد. شش جعبه (سه جعبه حاوی رقم بینام و سه جعبه حاوی رقم کازمی)، از خشک‌کن خارج شدند. هر یک از سه جعبه مربوط به یک رقم، نماینده یک تکرار بود. یعنی سه جعبه برداشته شده از رقم بینام نشان دهنده سه تکرار مربوط به دمای هوای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک‌کن، و رطوبت ۱۴ درصد است. سپس جای خالی آنها با بلوک‌های چوبی پر می‌شد تا دمای هوای خشک‌کن پایین نیاید و خشک کردن برای رسیدن به رطوبت‌های پایین‌تر (۱۰ و ۱۲ درصد) ادامه یابد. از جعبه‌های خارج شده نمونه‌برداری می‌شد. از هر عمق مشخص شده، ۱۸۰ گرم شلتوک خارج و پس از توزین در پلاستیک‌هایی ریخته می‌شد که مشخصات نمونه (تکرار، رقم، دمای هوای خشک‌کن، رطوبت، و عمق نمونه‌برداری) روی آن مشخص شده بود. عملیات خشک کردن برای رسیدن به رطوبت‌های ۱۲ و ۱۰ درصد در همین دما ادامه یافت و به همان صورت ذکر شده

تیمار ۱۵۰ گرم شلتوک وزن و با دستگاه پوست‌کن، پوست آنها جدا شد. از برنج قهوه‌ای به دست آمده، ۱۰۰ گرم توزین و وارد دستگاه سفیدکن شد. پس از ۳۰ ثانیه سفیدکنی، برنج سفید حاصل درون کیسه پلاستیکی حاوی مشخصات تیمار و تکرار قرار داده شد تا درصد خرده برنج آن محاسبه شود. برای این کار از هر تیمار ۳ تکرار ۵ گرمی از برنج سفید برداشت شد. سپس با الک‌های موجود در آزمایشگاه و به کمک پنس، برنج سفید سالم از برنج خرد^۱ جدا و درصد آن تعیین شد. با میانگین‌گیری از سه تکرار نمونه‌های ۵ گرمی، درصد خرده برنج هر تیمار به دست آمد و با میانگین‌گیری نهایی از سه تکرار اصلی، درصد خرده برنج نهایی هر تیمار مشخص می‌شد. جهت تبدیل داده‌ها به توزیع نرمال از تابع $y = \arcsin \sqrt{x}$ استفاده [۱] و نتایج تجزیه واریانس و آزمون دانکن با نرم افزار MSTATC استخراج شد.

۵- نتایج و بحث:

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش، که در جدول شماره ۱ داده شده است، نتایج زیر استنتاج می‌شود:

تأثیرات اصلی کلیه متغیرها بر میزان ترک ایجاد شده در برنج قهوه‌ای معنی‌دار است. اثر متقابل رقم و دما ($C \times T$)، رقم و رطوبت ($C \times M$)، دما و رطوبت ($T \times M$)، رقم و ضخامت لایه ($C \times D$)، و دما و ضخامت لایه ($T \times D$) نیز در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. اما اثر متقابل رطوبت و ضخامت لایه شلتوک ($M \times D$) بر میزان ترک ایجاد شده

نمونه‌گیری به عمل آمد. روز بعد، دمای هوای خشک‌کن روی ۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم و تمام مراحل انجام شده در فرآیند خشک کردن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مجدداً اجرا شد. به همین ترتیب روز بعد نمونه‌گیری‌های مربوط به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد نیز ادامه یافت. در پایان نمونه‌گیری‌های ۵۴ تیمار با سه تکرار، ۱۶۲ نمونه حاوی ۱۸۰ گرم شلتوک خشک شده در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد، رطوبت‌های ۱۰، ۱۲، و ۱۴ درصد بر پایه تر از دو رقم کاظمی و بینام با ضخامت لایه‌های نمونه‌گیری ۲۰-۳۰، ۱۰-۲۰ و ۰-۱۰ سانتی‌متر به دست آمد.

این نمونه‌ها به آزمایشگاه بخش فنی و مهندسی مؤسسه تحقیقات برنج کشور برده شد. از هر تیمار تعدادی شلتوک انتخاب شد، پس از پوست‌کندن ۵۰ دانه برنج قهوه‌ای کامل (شکسته) و قرار دادن آنها روی دستگاه ترک بین، درصد ترک هر تیمار مشخص شد. با میانگین‌گیری از سه تکرار برای هر تیمار، درصد ترک تیمار پس از خشک کردن مشخص شد. سپس مقادیر به دست آمده از درصد ترک تیمار، از میزان درصد ترک اولیه کم شد تا افزایش درصد ترک هر تیمار مشخص شود. بدین ترتیب، تأثیر پارامترهای مورد نظر بر ترک ایجاد شده (افزایش درصد ترک) قابل بررسی شد. در ادامه، نمونه‌ها به آزمایشگاه صنایع غذایی بخش فنی و مهندسی انتقال داده شد و عملیات تبدیل روی آنها صورت گرفت. در هنگام پوست‌کنی، فاصله بین غلتک‌های پوست‌کن مطابق تحقیقات پیمان (۱۳۷۹) ۰/۵۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. زمان سفیدکنی نیز برای همه تیمارها ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شد. از هر

معنی دار نیست. (شکل شماره ۲) به گونه‌ای که درصد ترک در رقم کاظمی در مقایسه با بینام به طور متوسط ۵۲/۵ درصد بیشتر است. همچنین، آزمون دانکن نشان می‌دهد که میزان درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده به طور میانگین برای دو رقم بینام و کاظمی در سه سطح دمای هوای خشک کن اختلافی معنی دار با یکدیگر دارند (شکل شماره ۳). نمودار نشان می‌دهد که بالارفتن دما موجب افزایش میزان ترک خوردگی می‌شود. این تأثیر در دماهای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر مشهود است.

تأثیرات اصلی کلیه متغیرها بر میزان خرده برنج ایجاد شده در برنج سفید حاصل از تبدیل معنی دار است. نتایج تجزیه واریانس اثرهای متقابل بر میزان درصد خرده برنج ایجاد شده، مانند نتایج آنها بر درصد ترک معنی دار است که ذکر شد.

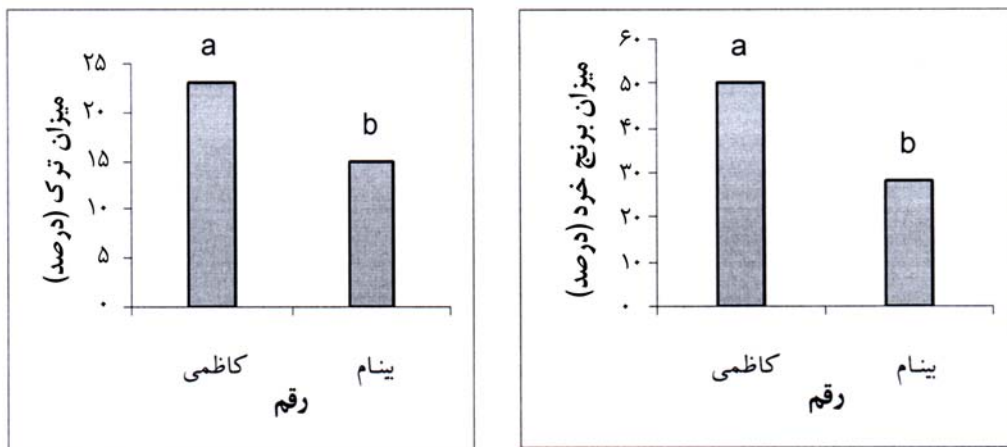
با بررسی نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن مشخص می‌شود که رقم کاظمی در مقایسه با رقم بینام نسبت به عوامل ایجاد ضایعات حساسیت بیشتری دارد و میزان درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده در آن به طور معنی دار بیشتر از رقم بینام است.

جدول شماره ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی*

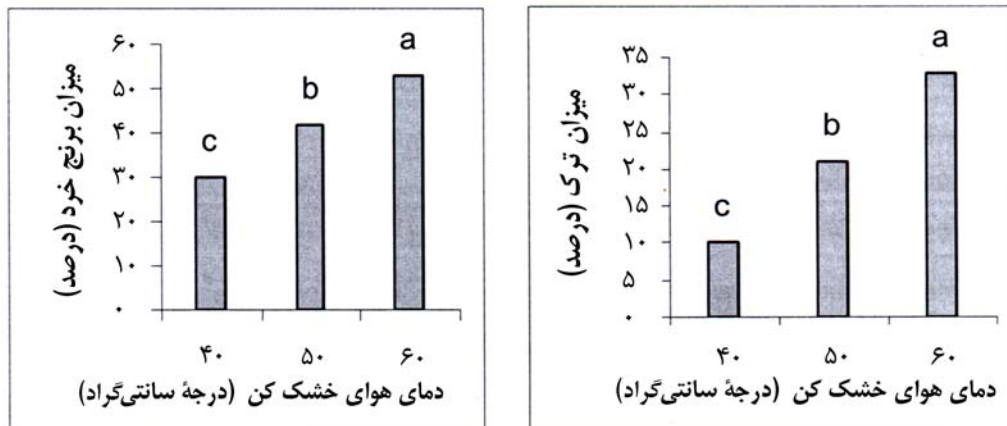
منبع تغییرات	درجات آزادی	میانگین مربعات (MS)	
		افزایش ترک	خرده برنج سفید
تکرار	۲	۲۴/۷۴۹n.s.	۶/۶۷۶n.s.
رقم (C)	۱	۹۶۱/۱۶۷	۶۵۷۰/۱۴۵
دما (T)	۲	۳۹۳۴/۲۹۷	۲۹۷۸/۲۹۸
رطوبت (M)	۲	۵۴۰/۳۶۰	۲۸۲/۲۷۵
عمق (D)	۲	۵۳۷/۷۵۶	۳۶۵/۷۵۲
رقم×دما (C×T)	۲	۶۰/۶۹۱	۹۹/۵۲۰
رقم×رطوبت (C×M)	۲	۱۸۷/۷۹۸	۳۰۳/۹۲۹
رقم×عمق (C×D)	۲	۱۵۹/۱۵۷	۴۹/۳۷۷
دما×رطوبت (T×M)	۴	۴۶۶/۳۸۹	۴۶۸/۲۷۰
دما×عمق (T×D)	۴	۲۱۶/۲۶۴	۲۶۲/۳۱۸
رطوبت×عمق (M×D)	۴	۲۹/۹۰n.s.	۲۷/۶۴۰n.s

* کلیه موارد فوق در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار هستند.

n. s. : فاقد اثر معنی دار



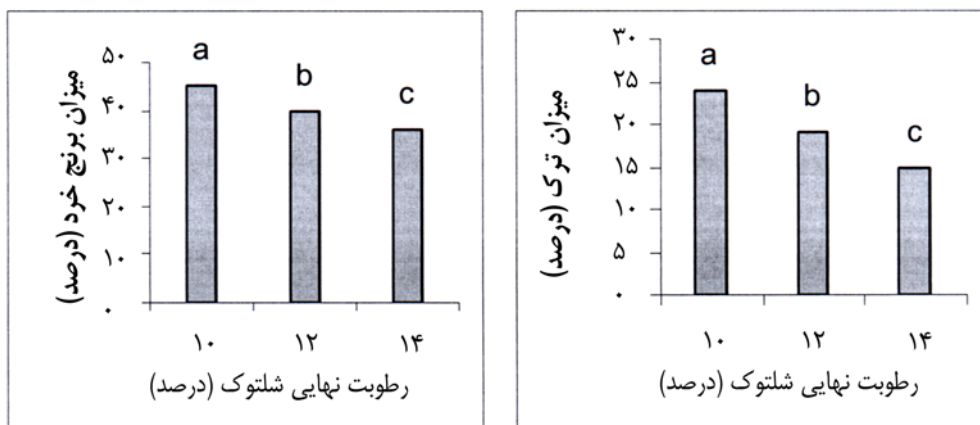
شکل شماره ۲- نمودار میانگین درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده برای دو رقم شلتوک



شکل شماره ۳- نمودار اثر دمای هوای خشک کن بر میزان درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده

شکل شماره ۴ مقایسه بین میانگین درصد برنج خرد و ترک ایجاد شده در دو رقم بینام و کاسمی نشان داده شده است. با افزایش رطوبت شلتوک از ۱۰ به ۱۴ درصد، میزان برنج خرد و میزان ترک دانه به طور متوسط در حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد.

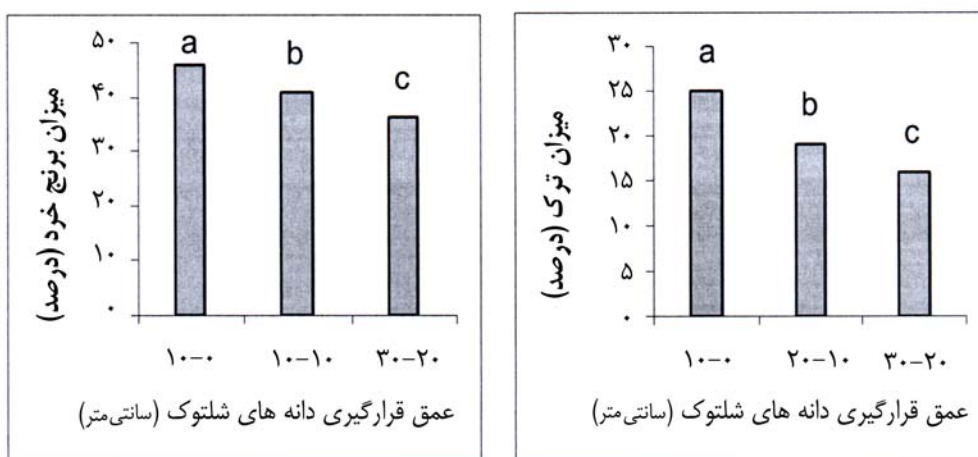
طبق نتایج جدول شماره ۱، اثر رطوبت نهایی شلتوک بر میزان درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده معنی‌دار است. نتایج آزمون دانکن نشان می‌دهد که کاهش رطوبت نهایی شلتوک تا ۱۰ درصد باعث افزایش معنی‌دار میزان ترک و برنج خرد می‌شود.



شکل شماره ۴- نمودار اثر رطوبت نهایی شلتوک بر میزان درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده

حدود ۳۵ درصد است که به طور متوسط ۱۰ درصد کاهش یافته است. همچنین میزان ترک دانه در ضخامت لایه ۰-۱۰ سانتی متر ۲۵ درصد و در لایه ۲۰-۳۰ سانتی متر در حدود ۱۶ درصد است (که در حدود ۹ درصد کاهش نشان می‌دهد). شکل شماره ۵، درصد برنج خرد و ترک ایجاد شده را به طور میانگین برای دو رقم بینام و کاظمی در سطوح مختلف عمق قرارگیری شلتوک نشان می‌دهد.

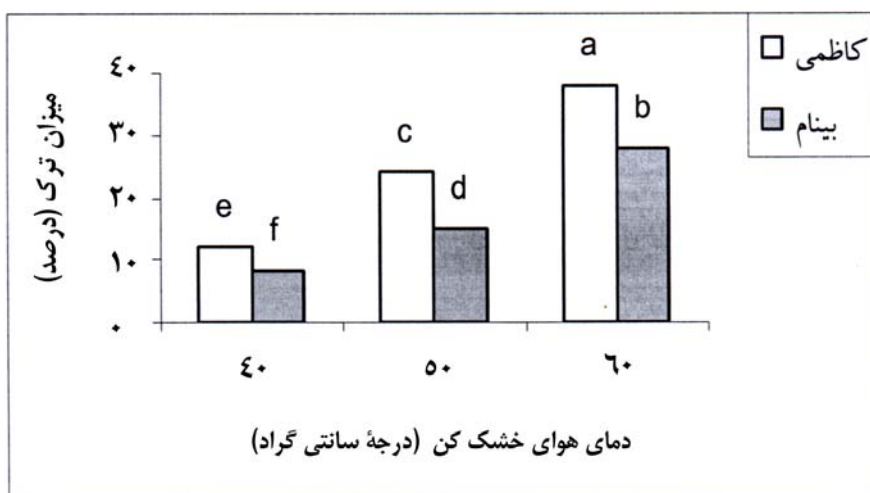
همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، ضخامت لایه شلتوک درون محفظه خشک‌کن، تأثیری معنی‌دار بر درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده دارد (جدول شماره ۱). هر چه فاصله دانه‌های شلتوک از کف مخزن خشک‌کن (محل ورود هوای گرم) بیشتر شود، درصد ترک و برنج خرد ایجاد شده کاهش می‌یابد. میانگین میزان برنج خرد در لایه ۰-۱۰ سانتی متر ۴۵ درصد و در لایه ۲۰-۳۰ سانتی متر در



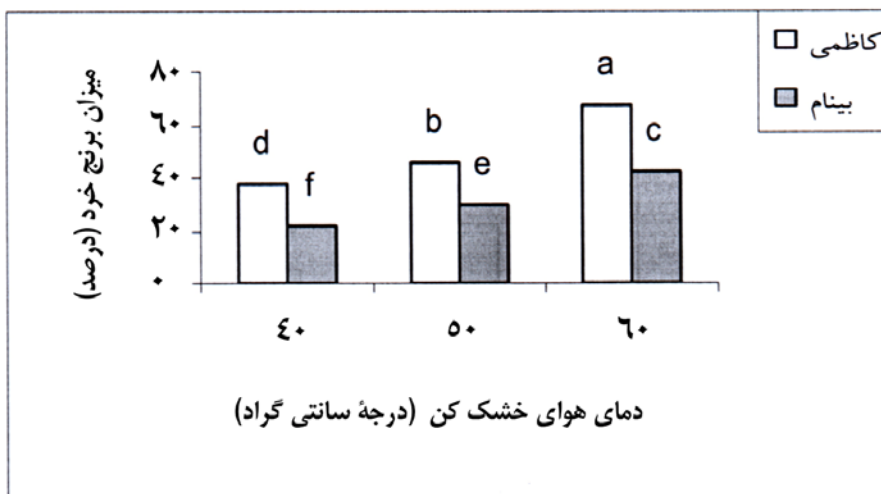
شکل شماره ۵- نمودار اثر ضخامت لایه شلتوک درون محفظه خشک‌کن بر درصد ترک و برنج خرد

بررسی اثر متقابل رقم و دما نشان می‌دهد که برای هر سه سطح دمای مورد آزمایش، میزان ترک ایجاد شده در رقم کاظمی بیشتر از بینام است. از طرفی، افزایش دمای هوای خشک‌کن برای هر دو رقم باعث افزایش معنی دار در میزان درصد ترک می‌شود (شکل شماره ۶). نتیجه بررسی این اثر متقابل بر میزان برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل نیز مانند اثر آن بر میزان درصد ترک است (شکل شماره ۷).
اثر متقابل رقم و رطوبت بر میزان ترک ایجاد

شده معنی دار است (جدول شماره ۱). در رطوبت ۱۴ درصد، از نظر میزان ترک ایجاد شده در دو رقم اختلافی معنی دار وجود ندارد. ولی در دو سطح رطوبتی دیگر (۱۲ درصد و ۱۰ درصد)، اختلافی معنی دار مشاهده شد (شکل شماره ۸). علت این موضوع را باید در خواص فیزیکی و حساسیت ارقام به تنش‌های رطوبتی جستجو کرد. در این آزمایش‌ها مشخص شد که رقم کاظمی در مقایسه با رقم بینام در ایجاد ترک حساسیت بیشتری دارد.



شکل شماره ۶- نمودار اثر متقابل رقم و دما بر میزان ترک ایجاد شده پس از خشک کردن

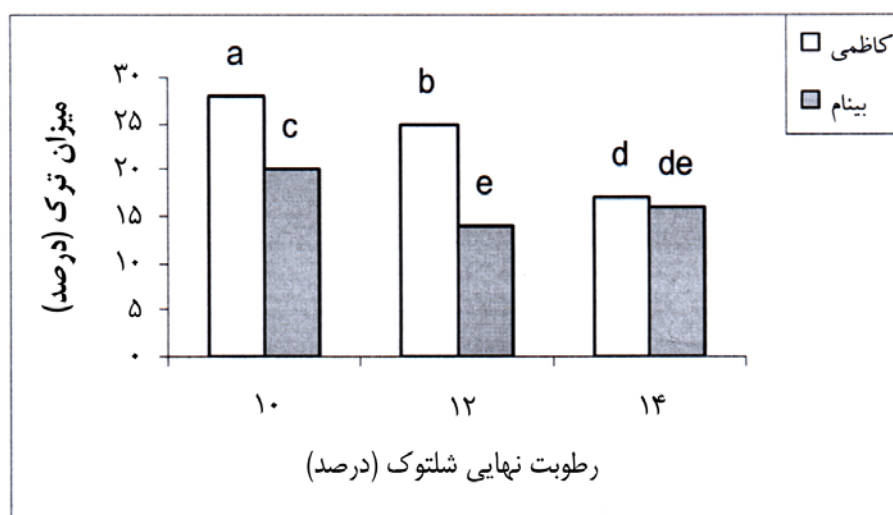


شکل شماره ۷- نمودار اثر متقابل رقم و دما بر میزان برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل

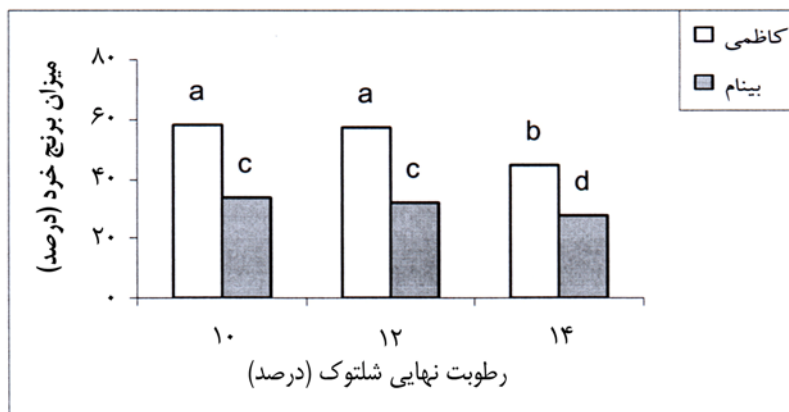
نتیجه بررسی حاکی از معنی دار بودن اثر متقابل می یابد.

رقم و رطوبت بر میزان خرده برنج ایجاد شده است (جدول شماره ۱). در تمام سطوح رطوبتی، میزان برنج خرد ایجاد شده برای رقم کاظمی بیشتر از رقم بینام است که با نتایج مربوط به درصد ترک مطابقت دارد (شکل شماره ۹). در هر دو رقم، از نظر میزان برنج خرد ایجاد شده در سطوح رطوبتی ۱۲ درصد و ۱۰ درصد، اختلافی معنی دار وجود ندارد. ولی بین این دو سطح و سطح رطوبتی ۱۴ درصد، اختلافی معنی دار مشاهده می شود (شکل شماره ۹). کاهش درصد ترک در رطوبت بالاتر از ۱۰ درصد عامل اصلی کاهش درصد برنج خرد در مرحله تبدیل است. برای کاهش درصد رطوبت به میزان ۱۰ درصد، تنش های حرارتی بیشتری بر دانه شلتوک وارد می شود و در نتیجه میزان برنج خرد در مرحله تبدیل (پوست کنی و سفید کردن) افزایش

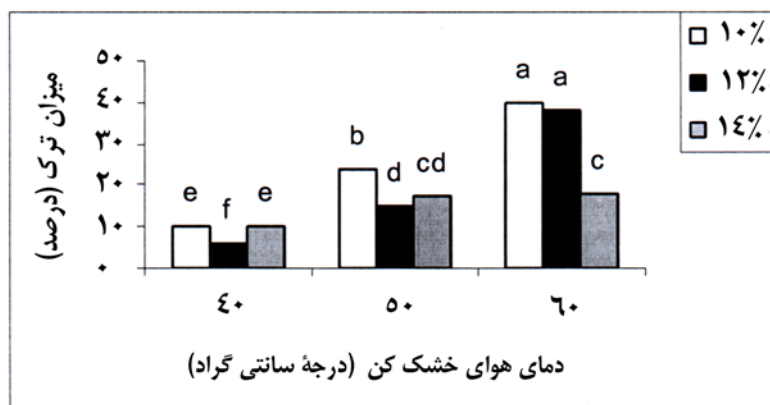
بررسی اثر متقابل دما و رطوبت نشان می دهد که در رطوبت ۱۴ درصد، از نظر ترک ایجاد شده در دو سطح دمای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد اختلافی معنی دار وجود ندارد. ولی در همین سطح رطوبتی، بین ترک ایجاد شده در دو دمای ذکر شده و دمای ۴۰ درجه سانتی گراد اختلافی معنی دار وجود دارد و کاهش معنی داری است (شکل شماره ۱۰). طبق نتایج مندرج در شکل شماره ۹، در دو سطح رطوبتی ۱۰ درصد و ۱۲ درصد، با افزایش دمای هوای خشک کن، درصد ترک ایجاد شده افزایش می یابد، برای رطوبت ۱۰ درصد افزایش ترک بیشتر است. اثر متقابل دما و رطوبت بر میزان خرده برنج ایجاد شده، مانند اثر آن بر درصد ترک ایجاد شده است (شکل شماره ۱۱).



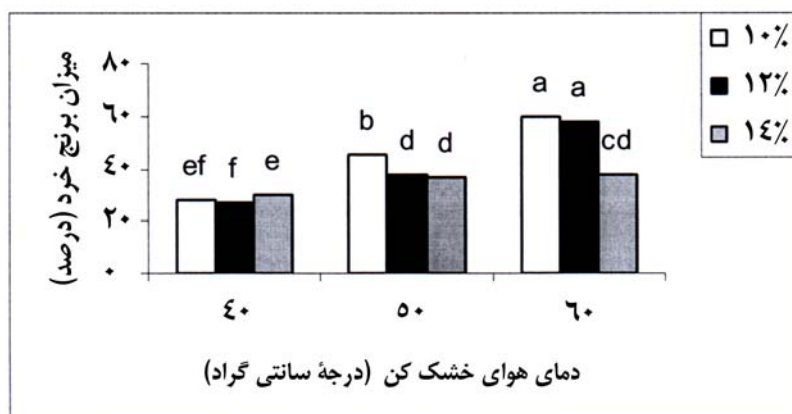
شکل شماره ۸- نمودار اثر متقابل رقم و رطوبت بر میزان ترک ایجاد شده پس از خشک کردن



شکل شماره ۹- نمودار اثر متقابل رقم و رطوبت بر میزان
برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل



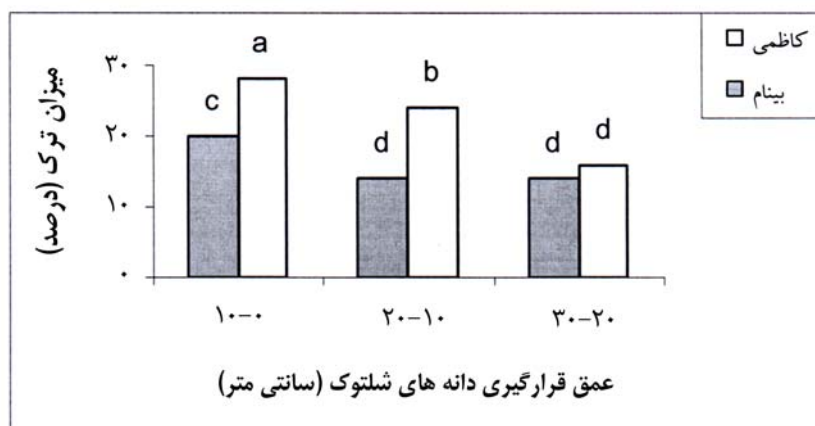
شکل شماره ۱۰- نمودار اثر متقابل دما و رطوبت بر میزان
ترک ایجاد شده پس از خشک کردن



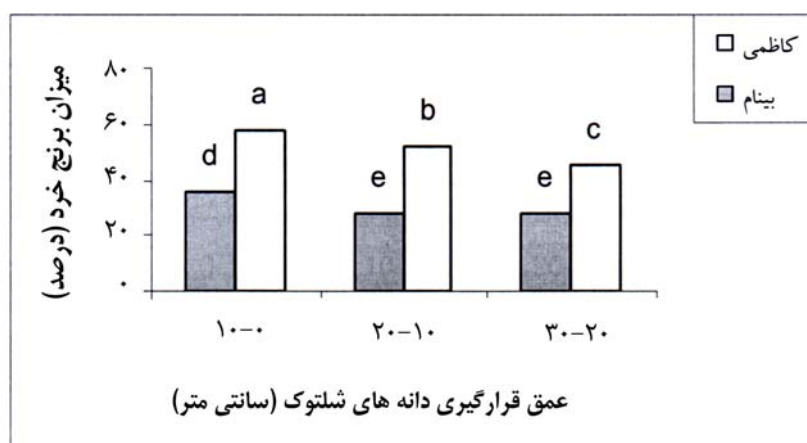
شکل شماره ۱۱- نمودار اثر متقابل دما و رطوبت بر میزان
برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل

اثر متقابل رقم و ضخامت لایه شلتوک در (شکل شماره ۱۲).
 محفظه خشک کن بر میزان ترک ایجاد شده معنی دار است (جدول شماره ۱). شکل شماره ۱۲ نشان می دهد که برای هر دو رقم، بیشترین ترک ایجاد شده در عمق ۰-۱۰ سانتی متری قرارگیری دانه های شلتوک دیده می شود. همچنین مشاهده می شود که بین دو رقم از نظر ترک ایجاد شده در عمق ۲۰-۳۰ سانتی متری اختلافی معنی دار وجود ندارد.

بررسی اثر متقابل فوق بر میزان خرده برنج ایجاد شده (شکل شماره ۱۳) نشان می دهد که در سه ضخامت لایه شلتوک، درصد خرده برنج ایجاد شده رقم کاظمی به طور معنی دار بیشتر از رقم بینام است. ولی در رقم بینام، ضخامت لایه های ۲۰-۳۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متری از نظر خرده برنج ایجاد شده اختلافی معنی دار با یکدیگر ندارند.



شکل شماره ۱۲- نمودار اثر متقابل رقم و عمق بر میزان ترک ایجاد شده پس از خشک کردن



شکل شماره ۱۳- نمودار اثر متقابل رقم و عمق بر میزان برنج خرد ایجاد شده پس از تبدیل

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که رقم کاظمی در مقایسه با رقم بینام، نسبت به عوامل مؤثر در ایجاد ضایعات حساسیت بیشتری دارد. رقم بینام از ارقام دانه کوتاه و رقم کاظمی از ارقام دانه بلند است. تحقیقات نشان می‌دهد که ارقام دانه بلند نسبت به ارقام دانه کوتاه حساسیت بیشتری به عوامل ایجاد ترک و خرد شدن دارند و درصد خرد شدن آنها در شرایط یکسان بیشتر است [۱۶].

نتایج نشان می‌دهد که دمای هوای خشک‌کن تاثیر بسزایی بر میزان درصد ترک و خرده برنج ایجاد شده دارد. افزایش دمای هوای خشک‌کن تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد، موجب افزایش معنی دار در ترک و میزان برنج خرد می‌شود. علت این امر دفع سریع رطوبت شلتوک در دماهای بالاست که باعث ایجاد تنش ناگهانی کششی در سطح و تنش فشاری در مرکز دانه می‌شود [۱۵]. نتایج تحقیقات سلیمانی (۱۳۷۷) نیز نشان می‌دهد که افزایش دمای هوای خشک‌کن از ۳۰ به ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، باعث کاهش کیفیت تبدیل و افزایش میزان خرده برنج می‌شود. نتایج تحقیقات جوما و یاماشیتا (Juma and Yamashita, 1987) نیز نشان می‌دهد که با افزایش دمای هوای خشک‌کن، درصد ترک ایجاد شده افزایش می‌یابد.

کاهش رطوبت نهایی شلتوک تا ۱۰ درصد، باعث افزایش در میزان ترک و خردشدگی برنج می‌شود. تحقیقات سلیمانی (۱۳۷۷) نشان می‌دهد که خرده برنج ایجاد شده در رطوبت نهایی ۱۰/۵ درصد به طور معنی‌دار بیشتر از زمانی است که رطوبت نهایی ۱۴ درصد باشد.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که هرچه فاصله قرارگیری دانه‌های شلتوک از کف مخزن بیشتر شود، درصد ترک و خردشدگی به طور معنی‌دار کمتر می‌شود. دلیل آن، تنش حرارتی بیشتر در دانه‌های شلتوک نزدیک به کف خشک‌کن به علت تماس با هوای گرم است. از سوی دیگر، مدت زمانی که طول می‌کشد تا لایه‌های بالایی رطوبت خود را از دست بدهند، بیشتر از زمانی است که دانه‌های شلتوک واقع شده در لایه‌های پایینی محفظه خشک‌کن رطوبت خود را از دست می‌دهند و این تفاوت زمانی، موجب کاهش بیشتر رطوبت دانه‌های شلتوک لایه‌های پایینی و در نتیجه ایجاد ترک بیشتر می‌شود. نتایج بررسی‌های هاشمی سلیمانی (۱۳۷۴) نشان می‌دهد که ضخامت لایه شلتوک در معرض هوای گرم، بر ضایعات برنج تأثیر گذار است. بررسی‌های رفیعی (۱۳۷۶) نیز نشان می‌دهد که میزان ضایعات در لایه‌های زیرین توده شلتوک داخل مخزن خشک‌کن، به طور معنی‌دار بیشتر از لایه‌های بالایی است.

۶- نتیجه‌گیری:

- از یافته‌های این تحقیق می‌توان توصیه‌ها و پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه داد:
 - ۱- تبدیل ارقام حساس به شکست، از لحاظ دمای هوای خشک‌کن، رطوبت نهایی شلتوک و ضخامت لایه شلتوک در خشک‌کن باید با کنترل و دقت بیشتری صورت گیرد.
 - ۲- رطوبت نهایی شلتوک در هنگام تبدیل در کارخانه‌های برنجکوبی با دقت سنجیده شود تا عملیات تبدیل با حداقل ضایعات همراه باشد.

- محدوده رطوبتی ۱۲-۱۴ درصد را می توان برای خشک کن را کاهش داد تا تنش های ایجاد شده در اثر کاهش ناگهانی رطوبت باعث افزایش ترک در دانه برنج نشود. با توجه به نتایج این تحقیق، دمای ۴۰ درجه سانتی گراد توصیه می شود.
- ۳- با توجه به تأثیر ضخامت لایه شلتوک در محفظه خشک کن بر میزان ضایعات، توصیه می شود که ضخامت لایه شلتوک درون خشک کن های سنتی کمتر از ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شود.
- ۴- برای کاهش ضایعات تبدیل، باید دمای هوای خشک کن را کاهش داد تا تنش های ایجاد شده در اثر کاهش ناگهانی رطوبت باعث افزایش ترک در دانه برنج نشود. با توجه به نتایج این تحقیق، دمای ۴۰ درجه سانتی گراد توصیه می شود.
- ۵- به منظور کاهش زمان خشک کردن و جلوگیری از کاهش کیفیت برنج تبدیل شده، اثر پارامترهای تحقیق در انواع خشک کن های دیگر نیز مورد بررسی قرار گیرد.

۷- مراجع:

- ۱- ارقامی، ن. و بزرگ نیا، ا. (مترجم). ۱۳۷۰. آمار چند متغیره کاربردی. چاپ اول. آستان قدس رضوی، ۴۲۰ ص.
- ۲- پیمان، م. ۱۳۷۹. بررسی عوامل شکستگی دانه در فرآیند پوست کنی شلتوک. رساله دوره دکتری مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- خوشحال، م. و مینایی، س. بهینه سازی مصرف انرژی در فرآیند خشکاندن شلتوک با استفاده از خشک کن عمودی لایه نازک. مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی انرژی، ۱۳۸۲. ۷۷۳-۷۸۳.
- ۴- رفیعی، ش. ۱۳۷۶. بررسی روش متداول خشک کردن شلتوک. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران.
- ۵- سلیمانی، م. ۱۳۷۷. تأثیر پارامترهای خشک کن بر خصوصیات کیفی در شکنندگی برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶- عارفی، ح. باباپور، ج. اشراقی، ا. و فقیه نصیری، ز. ۱۳۷۳. بررسی و تعیین بهترین درصد رطوبت شلتوک هنگام تبدیل به برنج سفید و تعیین راندمان تبدیل ارقام آمل ۳ و هراز. گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج شمال. مازندران.
- ۷- کیانمهر، م. ۱۳۸۰. بررسی عوامل مؤثر فیزیکی در ترک خوردگی شلتوک در خشک کن با جریان معکوس شونده هوا. رساله دوره دکتری مکانیک ماشینهای کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.

۸- هاشمی سلیمانی، س. ۱۳۷۴. طرح بهینه سازی خشک کن ثابت بستر افقی با بررسی ضایعات. پایان نامه

کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.

- 9- Courtois, F., Abud, M. and Bonazzi, C. 2001. Modeling and control of a mixed- flow rice dryer with emphasis on breakage quality. J. of Food Eng. 49: 303-309.
- 10- Juliano, B. O., 1985. Rice, Chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists.
- 12- Juma Omar, S. and Yamashita, R. 1978. Rice drying, husking and milling. Part1, Drying. Agricultural mechanization in asia, africa and latin america, 18(2): 43-46.
- 13- Kunze, O. R. and Chudhury, M. 1972. Moisture adsorption related to the tensile strenght of rice. In: Rice, production and utilization. Ed. Bor S. Luh. AVI Publishing Co. INC. 49, 684-696.
- 14- Mondoza, E. E. and Rigor, A. C. 1983. Quality deterioration in on from level of operation, Naphir project. Research reports of food terminal. Manila.
- 15- Teter, N. 1987. Paddy drying manual. FAO of the United Nations.
- 16- Wiset, L., Srzednicki, G. and Driscoll, R. 2001. Effects of high temperature drying on rice quality. Agricultural engineering international: the CIGR J. of Sci. Res. and Development. Manuscript. FP01003.

Investigation of the Effects of Drying Parameters on Rice Cracking and Breakage During Milling

S. Minaei, Gh. R. Rouhi and M. R. Alizadeh

Paddy, is one of the principal grains and before storage, and at the beginning of the milling process needs to be dried. A major part of grain losses occurs during drying. In order to examine the different factors affecting rice losses due to the drying process, this research was conducted. The experimental design used in this project was a split-split plot design with four factors of rice variety (*Beenam* and *Kazemi*), drying air temperature (40, 50 and 60 °C), final paddy moisture content (10, 12 and 14% w.b.), and depth of grain in the drying bin (0-10, 10-20 and 20-30 cm) at three replications. Effects of these factors on percentage of cracked (after drying) and broken rice kernels (after milling) were investigated. Results of the experiments showed that *Kazemi* variety was more sensitive to cracking than *Beenam* variety. Paddy moisture content of 14% was found to be appropriate for milling of both varieties. Statistical analysis of the data indicated that drying-air temperature of 40 °C was suitable for drying of paddy. In this way, the cracked and broken grains were reduced after milling. Amount of cracking as well as rice breakage (after milling) increased with increasing depth of paddy in the dryer bin.

Key words: Breaking Percentage, Cracking Percentage, Drying Air Temperature, Final Paddy Moisture Content, Rice

اثر خشک کردن چند مرحله‌ای بر بازده تبدیل و مدت زمان خشک کردن شلتوک^۱ کبری تجدیدی طلب^۲

۱- چکیده:

به منظور بررسی اثر خشک کردن چند مرحله‌ای بر بازده تبدیل و مدت زمان خشک کردن شلتوک، از رقم خزر و آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با دو فاکتور استفاده شد: یکی رطوبت اولیه شلتوک در دو سطح ($16/3 \pm 0/7$ درصد و $20/5 \pm 1/5$ درصد بر پایه‌تر) و دیگری روش خشک کردن در سه سطح (خشک کردن یک، دو و سه مرحله‌ای). فاکتورهای مورد بررسی در این تحقیق، بازده تبدیل، درصد برنج قهوه‌ای، درصد برنج سالم، درصد خرده برنج و مدت زمان خشک کردن بوده است. نتایج نشان داد که مراحل خشک کردن اثر قابل توجهی بر درصد برنج قهوه‌ای و بازده تبدیل ندارد اما درصد برنج سالم طی خشک کردن سه مرحله‌ای در هر دو سال بیشترین و روش‌های دو و یک مرحله‌ای به ترتیب کمترین مقدار را داشته‌اند. روش خشک کردن یک مرحله‌ای در شلتوک با رطوبت اولیه $19/6$ درصد با میزان برنج سالم $39/3$ درصد کمترین و سه مرحله‌ای با میزان برنج سالم $42/9$ درصد بیشترین مقدار را در سال اول داشت. خشک کردن شلتوک با رطوبت اولیه $15/7$ درصد به روش یک مرحله‌ای کمترین و روش‌های دو و سه مرحله‌ای بیشترین مقدار برنج سالم را به دست می‌دهند اما بین این دو تفاوت قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. نتایج سال دوم نشان می‌دهد که خشک کردن سه مرحله‌ای شلتوک با رطوبت اولیه $21/8$ درصد با مقدار برنج سالم $56/6$ درصد بیشترین و روش یک مرحله‌ای با $52/7$ درصد کمترین مقدار برنج سالم را به دست می‌دهند. به کارگیری روش خشک کردن یک مرحله‌ای در شلتوک با رطوبت اولیه $16/2$ درصد با $52/5$ درصد کمترین و سه مرحله‌ای با $55/8$ درصد بیشترین نسبت برنج سالم را به خود اختصاص می‌دهند. با توجه به نتایج حاصل برای رطوبت $19-22$ درصد شلتوک خزر، خشک کردن سه مرحله‌ای و برای رطوبت $15/5-17$ درصد، خشک کردن دو مرحله‌ای پیشنهاد می‌شود.

۲- واژه‌های کلیدی:

تبدیل، خشک کردن چند مرحله‌ای، شلتوک برنج.

۱ - برگرفته از طرح تحقیقاتی "اثر خشک کردن چند مرحله‌ای بر راندمان خشکاندن شلتوک برنج".

۲ - عضو هیئت علمی بخش فنی و مهندسی مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت. صندوق پستی ۱۶۵۸. دورنگار:

۶۶۹۰۰۵۱، تلفن: ۶۶۹۰۰۵۲.

۳- مقدمه:

به منظور حفظ کیفیت غلات طی انبار مانی طولانی، به حداقل رساندن خسارت‌های ناشی از تجزیه ترکیبات شیمیایی، کاستن از فعالیت قارچ‌ها، و حشرات، و جلوگیری از کاهش ارزش تغذیه‌ای این محصولات، خشک کردن به موقع آنها پس از عملیات برداشت ضروری است [۱۱]. محققان معتقدند که میزان رطوبت تأثیر قابل توجهی بر بازده تبدیل دارد [۱۴ و ۱۹]. گزارش‌ها نشان می‌دهد که تنش‌های حاصل از تغییر یک درصد رطوبت در دانه، ۱۰۰ بار بیشتر از تنش‌های حاصل از تغییر یک درجه سانتی‌گراد دماست [۱۴]. به طور کلی، شلتوک خشک بسیار جاذب الرطوبه است و نسبت به محیطی که در آن قرار می‌گیرد از خود واکنش نشان می‌دهد. این خاصیت خصوصاً پس از رسیدن دانه در مزرعه مشاهده می‌گردد. دانه در حین خشک شدن رطوبت خود را به محیط پس می‌دهد و زمانی که رطوبت دانه به کمتر از ۲۰ درصد می‌رسد میزان رطوبت آن با محیط هماهنگ می‌شود و نسبت به تغییرات محیط از خود واکنش نشان می‌دهد. رطوبت موجود در دانه همواره خود را در حالت تعادل با دما و رطوبت نسبی محیط قرار می‌دهد. این موضوع حتی پس از برداشت محصول هم در دانه مشاهده می‌گردد [۱۶]. خشک نکردن به موقع شلتوک برنج باعث بروز فساد میکروبی (قارچی، باکتریایی) و جوانه‌زنی دانه پس از ۴۸ ساعت می‌شود [۶، ۱۳ و ۱۴]. تغییر رطوبت دانه را می‌توان به سه مرحله اساسی به شرح زیر طبقه بندی کرد [۱۴]:

۱- خشک کردن یک مرحله‌ای که از نظر

فیزیولوژیکی با افزایش وزن خشک، رطوبت

دانه کاهش می‌یابد.

۲- خشک کردن دو مرحله‌ای که رطوبت دانه به مدت ۱۰ روز درحد ۲۸ درصد ثابت باقی می‌ماند.

۳- خشک کردن سه مرحله‌ای که رطوبت دانه به‌طور فیزیکی و تحت تأثیر شرایط آب و هوایی کاهش می‌یابد.

چون میزان رطوبت دانه در دو مرحله اول تحت تأثیر شرایط آب و هوایی قرار نمی‌گیرد، احتمال بروز ترک در دو مرحله مذکور متفی است و ترک خوردگی طی خشک کردن در مزرعه یا خشک‌کن‌های کارخانه‌های برنجکوبی در مرحله سوم اتفاق می‌افتد [۱۲]. میزان مطلوب خشک شدن دانه به رقم، رطوبت اولیه، دمای دانه، روش خشک کردن، و دما و رطوبت نسبی محیط بستگی دارد. در بسیاری از موارد، به کارگیری حرارت بالا باعث بروز ترک در دانه و شکستگی آن طی عملیات تبدیل و کاهش بازده برنج سالم می‌شود [۸]. دمای هوا اولین و سرعت هوای به کار گرفته شده دومین فاکتور مؤثر در حذف رطوبت از سطح دانه شناخته شده است [۷]. خوش تقاضا و سلیمانی (۱۳۷۸) نشان دادند که افزایش دما از ۳۰ به ۷۰ درجه سانتی‌گراد، افزایش سرعت جریان هوا از ۰/۵ به ۲ متر بر ثانیه، و کاهش رطوبت نهایی از ۱۴ به ۱۰/۵ درصد باعث افزایش شکنندگی محصول می‌شود. طی مطالعه فوق مشخص شد که مهمترین عامل تأثیرگذار بر شکنندگی برنج، نخست دما و در رده بعدی رطوبت نهایی محصول است. همچنین مشخص شد که اثر نامطلوب حاصل از افزایش دما

و سرعت جریان هوا را می‌توان با ممانعت از کاهش زیاده از حد رطوبت محصول به هنگام خشک کردن کنترل کرد. جهان‌دیده (۱۳۷۴) در تحقیق خود ضمن استفاده از سه رقم خزر، بی‌نام، و سپید رود و سه دمای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد، نتیجه گرفت که محصول خشک شده در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دو دمای دیگر در مرحله تبدیل شلتوک به برنج سفید ایجاد ضایعات بیشتری می‌کند. کیان‌مهر و همکاران (۱۳۸۰) نشان دادند که به منظور نیل به یکنواختی مقدار رطوبت در عمق‌های مختلف خشک‌کن می‌توان دما را در خشک‌کن بستر ثابت توده‌ای کاهش داد. کاهش دما تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش ضریب تغییر مقدار رطوبت شلتوک در خشک‌کن با جریان یک طرفه هوا می‌شود، اما افزایش زمان خشک شدن محصول را در پی خواهد داشت و این در حالی است که با افزایش دما زمان خشک کردن کاهش و ضریب تغییر مقدار رطوبت شلتوک افزایش می‌یابد و از آنجا که معیار سنجش رطوبت شلتوک برای مرحله پوست‌کنی و سفید کردن اغلب لایه‌های بالایی خشک‌کن است، لایه‌های زیرین به شدت تحت تأثیر تنش‌های رطوبتی و حرارتی قرار می‌گیرند که عمده ضایعات برنج خرد شده با روش نادرست افزایش دما به منظور کاهش مقدار رطوبت شلتوک حاصل می‌شود.

چنانچه نسبت دانه‌های ترک خورده بیشتر از ۱۰ درصد باشد بازده تولید برنج سالم به طور قابل توجهی کاهش خواهد یافت [۵]. ترک خوردگی، حدود ۴۸ ساعت پس از خشک شدن در شلتوک ثابت خواهد ماند از این رو ترک دانه باید پس از سپری شدن این مدت زمان اندازه گیری شود [۲۱]. کونز (Kunze, 1985) نشان داد که در نمونه‌های مزرعه، دانه‌های خشک‌تری که در معرض باران و شبنم قرار می‌گیرند با سهولت بیشتری دچار ترک خوردگی می‌شوند. او همچنین افزود چنانچه شلتوک در معرض باران‌های خفیف قرار گیرد تعداد کمتری از دانه‌ها ترک برمی‌دارند.

اهداف این پژوهش عبارت است از اول: مقایسه تأثیر روش خشک کردن مرحله به مرحله با روش خشک کردن بدون وقفه بر بازده تبدیل، درصد برنج قهوه‌ای، درصد برنج سالم، و درصد خرده برنج شلتوک خزر با دو سطح اولیه رطوبتی متفاوت و دوم تأثیر روش‌های فوق بر مدت زمان خشک کردن.

۴- مواد و روش‌ها:

مواد -

در آزمایش‌ها، از شلتوک رقم خزر استفاده شد که در مزرعه برنج مؤسسه تحقیقات برنج کشور به

رائو (Rao, 2000) برای جلوگیری از تنش‌های حرارتی پیشنهاد داد که باید رطوبت شلتوک تازه برداشت شده را به حدود ۱۶ درصد رساند و پس از سپری شدن دوره استراحت^۱ عملیات خشک کردن

اولیه کمتر از ۱۷ درصد) و پس از توقف عملیات خشک کردن به مدت ۱۲-۱۸ ساعت، خشک کردن مجدد تا رسیدن به رطوبت مطلوب.

۳- خشک کردن سه مرحله‌ای: در این روش مانند روش دو مرحله‌ای پس از هر مرحله خشک کردن دستگاه خاموش می‌شود و خشک کردن تا رسیدن به رطوبت مطلوب مجدداً ادامه می‌یابد.

قابل ذکر است که برای شلتوک با رطوبت اولیه بیشتر از ۱۹ درصد، رطوبت مطلوب مرحله اول ۱۶-۱۷ درصد، مرحله دوم ۱۳/۵-۱۴/۵ درصد و مرحله سوم ۱۱-۱۲ درصد و برای شلتوک با رطوبت اولیه کمتر از ۱۷ درصد، رطوبت مناسب مرحله اول ۱۴/۵-۱۴ درصد، مرحله دوم ۱۲/۵-۱۳ درصد و مرحله سوم ۱۱-۱۲ درصد بوده است.

به منظور بررسی تأثیر خشک کردن چند مرحله‌ای بر بازده تبدیل و مدت زمان خشک کردن، از آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور رطوبت اولیه شلتوک در دو سطح (0.7 ± 16.3 درصد و 1.5 ± 20.5 درصد بر پایه تر) و فاکتور روش خشک کردن در سه سطح (یک، دو و سه مرحله‌ای) با ۶ تیمار و سه تکرار بر پایه طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. قبل از شروع آزمایش، میزان رطوبت اولیه و رطوبت طی عملیات خشک کردن اندازه گیری شد. دبی هوا، ارتفاع شلتوک در بستر خشک کن و شرایط عملیات تبدیل برای کلیه تیمارها یکسان بوده است.

دست آمده و کاملاً رسیده بود. خشک کن به کار گرفته شده در طرح، از نوع نیمه مداوم بستر خوابیده^۱ ساخت ژاپن با قدرت ۰/۴ کیلو وات و مجهز به ۲۰ سلول با ظرفیت یکسان بوده است. عملیات تبدیل به کمک دستگاه‌های پوست کن ساتاکه^۲ ساخت ژاپن و سفید کن بالدور^۳ ساخت امریکا انجام شد. برای اندازه‌گیری رطوبت از رطوبت سنج مدل جی ون^۴ ساخت کره و برای بررسی آماری نتایج از نرم افزار ایری استات^۵ (نسخه اول) استفاده شد.

- روش‌ها

ابتدا شلتوک رقم خزر با رطوبت‌های 1.5 ± 20.5 درصد و 0.7 ± 16.3 درصد (بر پایه تر) جمع‌آوری و به آزمایشگاه تبدیل موسسه منتقل شد. متعاقب آن، نمونه‌ها به طور جداگانه به شرح زیر با خشک‌کن آزمایشگاهی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نهایی (بر پایه تر) ۱۱-۱۲ درصد (بر اساس تحقیقات انجام گرفته قبلی توسط خوش‌ضمیر (۱۳۷۲)) خشک شدند:

۱- خشک کردن یک مرحله‌ای: خشک کردن بدون وقفه تا رسیدن به رطوبت مطلوب (۱۱ تا ۱۲ درصد).

۲- خشک کردن دو مرحله‌ای: ابتدا خشک کردن تا رسیدن به رطوبت مناسب (۱۶ تا ۱۷ درصد برای شلتوک با رطوبت اولیه بیشتر از ۱۹ درصد، و ۱۲/۵-۱۳/۵ درصد برای شلتوک با رطوبت

فرمول‌ها:

$$\text{وزن برنج قهوه ای (گرم)} \times 100 = \frac{\text{وزن شلتوک (گرم)}}{\text{وزن برنج قهوه ای (گرم)}} \times 100$$

$$\text{وزن برنج سفید (سالم + خرد) (گرم)} \times 100 = \frac{\text{وزن شلتوک (گرم)}}{\text{وزن برنج سفید (سالم + خرد) (گرم)}} \times 100$$

$$\text{وزن برنج سالم (گرم)} \times 100 = \frac{\text{وزن شلتوک (گرم)}}{\text{وزن برنج سالم (گرم)}} \times 100$$

۵- نتایج و بحث:

نتایج تجزیه واریانس در سال دوم (جدول

شماره ۲) نشان می‌دهد که تیمار، مراحل خشک کردن، و اثر متقابل رطوبت در مراحل خشک کردن بر درصد برنج قهوه‌ای غیرمعنی‌دار و رطوبت در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. تیمار، رطوبت، مراحل خشک کردن، و اثر رطوبت در مراحل خشک کردن بر بازده تبدیل غیر معنی‌دار است. نتایج مبین این موضوع است که تیمار و مراحل خشک کردن در سطح یک درصد بر درصد برنج سالم معنی‌دار، و رطوبت و اثر متقابل رطوبت در مراحل خشک کردن بر درصد برنج سالم غیر معنی‌دار است.

نتایج تجزیه واریانس در سال اول (جدول شماره ۱) نشان می‌دهد که اثر تیمار، رطوبت، مراحل خشک کردن، و اثر متقابل رطوبت در مراحل خشک کردن بر درصد برنج قهوه‌ای معنی‌دار نیست. اما تیمار، رطوبت و مراحل خشک کردن، و اثر متقابل مراحل خشک کردن در رطوبت در سطح یک درصد بر بازده تبدیل معنی‌دار است. نتایج مبین این موضوع است که اثر تیمار، رطوبت، و مراحل خشک کردن بر درصد برنج سالم در سطح یک درصد معنی‌دار اما اثر متقابل رطوبت در مراحل خشک کردن غیر معنی‌دار است.

جدول شماره ۱- تجزیه واریانس اثر خشک کردن چند مرحله‌ای بر کیفیت تبدیل (سال اول)

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد برنج قهوه‌ای	میانگین مربعات	میانگین مربعات	میانگین مربعات
تیمار	۵	۰/۲۲ ns	۸/۷۴**	۲۱۰/۳۲**	
رطوبت	۱	۰/۳۱ ns	۱۸/۴۶**	۱۰۱۳/۱۰**	
مراحل خشک کردن	۲	۰/۳۳ ns	۷/۴۰**	۱۸/۹۹**	
رطوبت × مراحل خشک کردن	۲	<۱	۵/۲۱**	<۱	
خطا	۱۲	۰/۰۹	۰/۲۴	۱/۰۳	

ns = غیرمعنی‌دار

** = معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول شماره ۲- تجزیه واریانس اثر خشک کردن چند مرحله ای بر کیفیت تبدیل (سال دوم)				
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	میانگین مربعات	میانگین مربعات
		درصد برنج قهوه ای	بازده تبدیل	درصد برنج سالم
تیمار	۵	۱/۵۸ ns	<۱	۸/۱۲**
رطوبت	۱	۳/۸۶*	<۱	۱/۱۶ ns
مراحل خشک کردن	۲	۱/۷۷ ns	<۱	۱۹/۵۸**
رطوبت × مراحل خشک کردن	۲	<۱	۱/۳۳ ns	<۱
خطا	۱۲	۰/۶۱	۰/۹۴	۰/۸۳

**= معنی دار در سطح یک درصد *= معنی دار در سطح ۵ درصد ns = غیر معنی دار

نتایج مقایسه میانگین اثر خشک کردن چند مرحله ای بر درصد برنج قهوه ای (جدول شماره ۳) نشان می دهد که در هر دو حالت (شلتوک با رطوبت اولیه ۱۹/۶ درصد و ۱۵/۷ درصد در سال اول و شلتوک با رطوبت اولیه ۲۱/۸ درصد و ۱۶/۲ درصد در سال دوم) نوع روش خشک کردن اثر معنی داری بر درصد برنج قهوه ای ندارد و کلیه تیمارها در یک گروه قرار می گیرند. به طور کلی، نتایج مقایسه میانگین اثر خشک کردن چند مرحله ای بر بازده تبدیل در سال دوم (جدول شماره ۴) نشان می دهد که مراحل خشک کردن در شلتوک با رطوبت اولیه ۲۱/۸ درصد و ۱۶/۲ درصد اثر معنی داری بر بازده تبدیل ندارد.

جدول شماره ۳- مقایسه میانگین اثر خشک کردن چند مرحله ای شلتوک بر درصد برنج قهوه ای

رطوبت اولیه شلتوک				
تیمار	سال اول		سال دوم	
	۱۹/۶درصد	۱۵/۷درصد	۲۱/۸درصد	۱۶/۲درصد
خشک کردن یک مرحله‌ای	۷۷/۶a*	۷۸/۱a	۷۶/۸a	۷۸/۲a
خشک کردن دو مرحله‌ای	۷۷/۴a	۷۷/۵a	۷۷/۳a	۷۸/۰a
خشک کردن سه مرحله‌ای	۷۷/۸a	۷۷/۹a	۷۶/۳a	۷۶/۹a
میانگین	۷۷/۶	۷۷/۸	۷۶/۸	۷۷/۷

* میانگین هایی که در یک ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد فاقد اختلاف معنی دار هستند.

نتایج مقایسه میانگین اثر خشک کردن چند مرحله‌ای شلتوک بر درصد برنج سالم در سال اول (جدول شماره ۵) نشان می‌دهد که خشک کردن یک مرحله‌ای در شلتوک با رطوبت اولیه ۱۹/۶ درصد کمترین درصد برنج سالم (۳۹/۳) را نسبت به خشک کردن دو و سه مرحله‌ای دارد. به علاوه در شلتوک با رطوبت اولیه ۱۵/۷ درصد نیز نتایج مشابهی مشاهده می‌شود. نتایج مقایسه میانگین در سال دوم (جدول شماره ۵) در ارتباط با تأثیر مراحل خشک کردن بر درصد برنج سالم نشان می‌دهد که در شلتوک با رطوبت اولیه ۲۱/۸ درصد، خشک کردن یک مرحله‌ای کمترین درصد برنج سالم و سه

مرحله‌ای بیشترین درصد برنج سالم را داشته است. در شلتوک با رطوبت اولیه ۱۶/۲ درصد، خشک کردن سه مرحله‌ای بیشترین درصد برنج سالم را نشان می‌دهد. در این راستا، خشک کردن یک و دو مرحله‌ای، نسبت به سه مرحله‌ای، کمترین مقدار را دارد اما تفاوت معنی‌داری بین آن دو مشاهده نمی‌شود.

نتایج مدت زمان خشک کردن شلتوک (جدول شماره ۶) نشان می‌دهد که مدت زمان خشک کردن در روش سه مرحله‌ای در کلیه نمونه‌ها نسبت به دو و یک مرحله‌ای بدون استثناء کمتر بوده است.

جدول شماره ۴- مقایسه میانگین اثر خشک کردن چند مرحله‌ای بر بازده تبدیل

رطوبت اولیه شلتوک

تیمار	سال اول			سال دوم
	۱۹/۶ درصد	۱۵/۷ درصد	۲۱/۸ درصد	۱۶/۲ درصد
خشک کردن یک مرحله‌ای	۶۴/۶b*	۶۸/۷a	۶۵/۳a	۶۶/۵a
خشک کردن دو مرحله‌ای	۶۸/۱a	۶۸/۸a	۶۵/۷a	۶۵/۳a
خشک کردن سه مرحله‌ای	۶۸/۱a	۶۹/۳a	۶۸/۷a	۶۵/۴a
میانگین	۶۶/۹	۶۸/۹	۶۵/۶	۶۵/۷

* میانگین‌هایی که در یک ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

جدول شماره ۵- مقایسه میانگین اثر خشک کردن چند مرحله‌ای بر درصد برنج سالم

رطوبت اولیه شلتوک

تیمار	سال اول			سال دوم
	۱۹/۶ درصد	۱۵/۷ درصد	۲۱/۸ درصد	۱۶/۲ درصد
خشک کردن یک مرحله‌ای	۳۹/۳b*	۵۴/۸b	۵۲/۷c	۵۲/۵b
خشک کردن دو مرحله‌ای	۴۲/۵a	۵۷/۱a	۵۴/۵b	۵۳/۹b
خشک کردن سه مرحله‌ای	۴۲/۹a	۵۷/۸a	۵۶/۶a	۵۵/۸a
میانگین	۴۱/۶	۵۶/۶	۵۴/۶	۵۴/۱

* میانگین‌هایی که در یک ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

جدول شماره ۶- مدت زمان خشک کردن شلتوک

تیمار	رطوبت اولیه شلتوک			
	سال اول		سال دوم	
	۱۹/۶ درصد	۱۵/۷ درصد	۲۱/۸ درصد	۱۶/۲ درصد
خشک کردن یک مرحله‌ای (دقیقه)	۲۸۵	۱۵۰	۳۴۵	۱۳۰
خشک کردن دو مرحله‌ای (دقیقه)	۲۴۰	۸۵	۲۸۰	۹۰
خشک کردن سه مرحله‌ای (دقیقه)	۲۲۰	۸۰	۲۶۵	۸۵

لی و همکاران (Li et al. 1999) نشان دادند که استراحت دهی (اعتدال حرارتی) شلتوک طی عملیات خشک کردن ضمن کاهش تنش در دانه به کاهش مدت زمان خشک کردن می‌انجامد. نتایج تحقیق اخیر نیز کاهش مدت زمان خشک کردن را همزمان با افزایش تعداد توقف حین عملیات خشک کردن نشان داد. این موضوع از نظر صرفه‌جویی انرژی در کارخانه‌های برنجکوبی اهمیت دارد [۱۸].

چنانچه رطوبت سطحی شلتوک سریعاً کاهش یابد، به دلیل انتقال آب از بخش‌های داخلی دانه به سطح آن، لایه‌های بیرونی چروکیده و منقبض می‌شود و در فرآیند تبدیل (به خصوص طی عملیات سفید کردن) در اثر به کارگیری دمای بالا طی عملیات خشک کردن، انبساط ناشی از فشار درونی دانه با رطوبت‌های مختلف باعث افزایش شکستگی می‌گردد [۱۵]. در واقع، در اثر خشک کردن چند مرحله‌ای سرعت خشک کردن با افزایش تعداد توقف افزایش می‌یابد. نتایج تحقیق اخیر با نتایج تحقیقات سایر محققان مطابقت دارد

[۸]. توقف عملیات خشک کردن برای مدت زمان مشخص و خشک کردن مجدد باعث یکنواختی هرچه بیشتر انتشار (از طریق انتقال) رطوبت دانه از بخش مرکزی به سطح آن و افزایش گرادیان رطوبتی در سطح می‌شود [۸ و ۹]. تغییر دما و گرادیان‌های رطوبتی نقش مؤثری بر ترکیبات غذا مانند نشاسته و پروتئین دارد. در این راستا تغییر حالت نشاسته (از شیشه‌ای به لاستیکی و بالعکس) در برنج عامل مهمی در پتانسیل تولید ترک و خرد شدن حین عملیات خشک کردن و دوره استراحت شناخته شده است [۹]. نتایج مطالعات استاتیکی و همکاران (Steffe et al., 1979) نشان می‌دهد که استراحت‌دهی شلتوک طی عملیات خشک کردن باعث سهولت خروج رطوبت از دانه و افزایش درصد برنج سالم تولیدی می‌شود اما روی بازده کل تبدیل اثر قابل توجهی ندارد.

مدت زمان استراحت بسیار متغیر است و بستگی به دمای مورد استفاده دارد. طی مرحله استراحت، هرچه دما بالاتر باشد دوره آن کاهش می‌یابد [۹].

برخی از محققان از دوره استراحتی معادل ۶ تا ۲۴ می‌شود. مطالب فوق با نتایج این تحقیق مطابقت ساعت استفاده و ذکر کردند که این دوره باعث

بهبود درصد برنج سالم می‌شود. البرت و همکاران

(Elbert et al. 2001) در بررسی‌های خود به این

نتیجه رسیدند که افزایش مدت

زمان استراحت دهی به افزایش درصد برنج سالم

تولیدی می‌انجامد. چوو و آتاپول

(Chouw & Athapol, 2001) نشان دادند که

استراحت دهی ۱۲ ساعته به دنبال خشک کردن

شلتوک به روش بستر سیال و خشک کردن در سایه

باعث افزایش درصد برنج سالم می‌شود. آنها

همچنین نشان دادند که به کارگیری خشک کردن

یک مرحله‌ای (بدون وقفه) در هر دو

حالت، دمای بالا و دمای پایین در سیستم بستر سیال

منجر به کاهش درصد برنج سالم تولیدی

۶- نتیجه‌گیری:

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، موارد

زیر پیشنهاد می‌شود:

۱- برای رقم خزر با رطوبت اولیه ۱۹-۲۲ درصد،

خشک کردن سه مرحله‌ای و برای شلتوک با

رطوبت اولیه ۱۵/۵-۱۷ درصد، خشک کردن طی

دو مرحله به کار بسته شود.

۲- انجام طرح‌های تحقیقاتی در ارتباط با اثر خشک

کردن چند مرحله‌ای بر سایر ارقام شلتوک، و

بررسی دما و دامنۀ مناسب توقف بین مراحل

خشک کردن طرح‌های تحقیقاتی دیگری اجرا

شود.

۷- مراجع:

۱- جهان‌دیده، ح. ۱۳۷۴. بررسی کاهش ضایعات در مراحل تبدیل شلتوک به برنج سفید. پایان نامه کارشناسی

ارشد علوم و صنایع غذایی. دانشگاه تربیت مدرس.

۲- خوش تقاضا، م. و م. سلیمانی. ۱۳۷۸. تأثیر پارامترهای خشک کن بر شکنندگی برنج. علوم کشاورزی. سال

پنجم. شماره ۲۰. ۴۹-۶۲.

۳- خوش ضمیر، ع. ۱۳۷۲. تعیین درجه حرارت مناسب جهت خشکاندن سه رقم برنج متداول. گزارش پژوهشی.

۴- کیان مهر، م.، توکلی، ت. و خوش تقاضا، م. ۱۳۸۰. بررسی اثر دما و جهت جریان هوا بر تغییرات رطوبت و زمان

خشک کردن شلتوک در خشک کن‌های توده‌ای، علوم کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی. سال هفتم. شماره ۱،

- 5- Aguerre, R., Suarez, C. and Viollaz, P. E. 1986. Effect of drying on the quality of milled rice. *J. of Food Tech.* 21 (1): 75-80.
- 6- Beny, J. M. and C. S. Ngin. 1970. Multiple drying of paddy (rice) in the humid tropics. *J. Agric. Eng. Res.* 15 (4): 364-74.
- 7- Chouw, I. and Athapol, N. 2001. Effect of drying air temperature and grain temperature of different types of dryer and operation on rice quality. *Drying Tech.* 19 (2), 389- 404.
- 8- Cihan, A. and Ece, M. C. 2001. Liquid diffusion model for intermittent drying of rough rice. *J. of Food Eng.* 49: 327-331.
- 9- Cnossen, A. G. and Siebenmorgen, T. J. 2000. The glass transition temperature concept in rice drying and tempering effect on milling quality. *Transactions of the ASAE.* 43(6): 1661-1667.
- 10- Elbert, G., Tolaba, M. and Suarez, C. 2001. Effects of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice. *J. of Food Eng.* 47(1): 37 - 41.
- 11- Imoudu, P. B. and Olufayo, A. A. 2000. The effect of sun drying on milling yield and quality of rice. *Bioresource Tech.* 74, 267-269.
- 12- Indudhara Swamy, Y. M and Bhattacharya, K. R. 1982. Breakage of rice during milling and type of cracked in immature grains. *J. of Food Sci. Tech.* 9, 106.
- 13- Javare, G. S. and Reddy, S. R. 1987. Optimization of drying parameters in paddy seeds. *Seed Res.* 15 (2): 176-182.
- 14- Juliano, B. 1985. *Rice chemistry and technology.* Published by the american association of cereal chemists, Ins. St. Paul, Mine USA. 774pp.
- 15- Kent, N. L. 1982. *Technology of cereals: An introduction for students of food science and agriculture.* Third Ed. P: 185.
- 16- Kunze, O. R. 1985. Effect of environment and variety on milling qualities of rice. *Texas University College Station USA. Agric.* 22, 532-541.
- 17- Li, Y., Cao, C. Yn, Q. and Zhong, Q. 1999. Study on rough rice fissuring during intermittent drying. *Drying Tech.* 17 (9): 1779 - 1793.
- 18- Rao, K. L. 2000. *Rural Agro - Industrial opportunities in Gilan province of islamic republic of Iran.* FAO. 126 pp.

-
- 19- Soponronnarit, S. and Prechakul, P. 1990. Experiments on instore and batch of paddy quality of product. J. Natural. Sci. 24(3): 367-377. Rice Abs. 1992. P: 53.
 - 20- Steffe, J. F., Singh, R. P. and Bakshi, A. S. 1980. Influence of tempering time and cooling on rice milling yields and moisture removal. Transactions of the ASAE. 22 (5): 1214 - 1218.
 - 21- Toshizo, B. 1971. Rice cracking in high rate drying. JARQ. 6 (2): 113-116.

The Effect of Multi Pass Drying on Milling Yield and Drying Time of Paddy

K.Tajaddodi Talab

In this study, the Khazar variety has been used. The statical analysis was carried out using factorial experiment by Completely Randomized Design (CRD) with three replications. The factors were initial moisture content of paddy in two level ($16.3\% \pm 0.7$ and $20.5\% \pm 1.5$ in wet basis) and drying method in three level (one, two and three pass drying). The percentage of brown rice, head rice, broken rice and drying time were analyzed. In the first year, paddy with moisture content 19.6%, the single pass drying had 39.3% head rice (minimum amount) and three pass with 42.9% had maximum head rice. The maximum head rice was obtained with the two and three pass methods, and the minimum percent of head rice was associated with the single pass method in paddy with moisture content 15.70%. The result of second year showed that multi pass (three) drying with 56.6% maximum and single pass with 52.7% minimum amount of head rice were obtained when moisture content paddy was 21.80%. The minimum and maximum head rice were obtained in single and three pass drying method with 52.5% and 55.8% respectively for initial moisture content of paddy 16.20%. The result of this study showed that drying procedure was not significant on milling yield. The multi pass procedure was more efficient and economic because the dryer was used only when the kernel surfaces were relatively moist, as a result of tempering. In conclusion for Khazar variety with moisture content of 19.0-22%, three pass was an appropriate method and with moisture content of 15.5-17.0%, the method of two pass drying was recommended.

Key words: Paddy, Multipass Drying, Rice Milling

تأثیر ضخامت فیلم، آرایش میوه (یک لایه یا دو لایه)، و اندازه بسته بندی

بر عمر انباری زردآلو^۱

زهرآشیخ الاسلامی و محمد علی شاه بک^۲

۱- چکیده:

میوه و سبزی به شدت فساد پذیرند و به همین جهت نیازمند عملیات پس از برداشت و اعمال روش های حمل و نقل، بسته بندی، و انبار داری مناسب برای به حداقل رسیدن ضایعات هستند. این تحقیق با هدف کاهش ضایعات میوه تازه (زردآلو) و افزایش زمینه صادرات آن در سه مرحله اصلی شامل: فرآیندهای بعد از برداشت و قبل از بسته بندی؛ فرآیندهای مربوط به بسته بندی، و فرآیندهای بعد از بسته بندی انجام پذیرفت. فرآیندهای قبل از بسته بندی شامل سرد کردن اولیه؛ ضد عفونی و خشک کردن قطره های آب سطحی از روی میوه است که برای تمام تیمارها یکسان بود. تیمارهای بسته بندی شامل: ۱- استفاده از ظروف غیر قابل انعطاف و تعیین مناسب ترین انباشتگی لایه های میوه ۲- تعیین بهترین نوع پوشش از نوع پلی اتیلن با دانسیته پایین ۳- تعیین مناسب ترین تعداد منفذ بسته جهت نگهداری میوه بود. فرآیندهای بعد از بسته بندی نیز برای تمام تیمارها یکسان و شامل: سردخانه ۰/۵- درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۹۵ درصد؛ گرمخانه ۴۰ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد؛ سردخانه گذاری ۰/۵- تا ۰/۵ و رطوبت نسبی ۹۵ درصد بود. نمونه ها آزمون کیفی فیزیکی و شیمیایی و ارزیابی حسی شدند و در مجموع پس از تجزیه آماری و با در نظر گرفتن مسایل اقتصادی و در دسترس بودن پوشش، تیماری که در آن از ظرف ۵۰۰ گرمی استفاده شده بود، میوه به صورت دو لایه چیده شده بود، ضخامت فیلم ۲۵ میکرومتر و تعداد منافذ ۱۰۰ و هر یک به قطر دو میلی متر بود به عنوان تیمار بهینه بسته بندی برای زردآلو انتخاب شد.

۲- واژه های کلیدی:

بسته بندی، زردآلو، سردخانه، ضخامت فیلم، عملیات پس از برداشت، گرمخانه

۱- برگرفته از طرح تحقیقاتی انتخاب بهترین شرایط بسته بندی گیلان سیاه مشهد و زردآلو جهت افزایش عمر انباری و توسعه صادرات

۲- عضو هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان؛ مجتمع کشاورزی طرق صندوق پستی ۹۱۲۷۵-۴۸۸ و عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

۳- مقدمه:

درصد و حتی بیشتر برآورد کرده‌اند. در کشورهای در حال توسعه، به‌علت نبود امکانات و آگاهی ناقص از نحوه برداشت، جا به جایی، درجه بندی، بسته بندی مناسب، و نگهداری میوه ضایعات پس از برداشت این محصولات بسیار بالاست و عمر انباری آنها نیز بسیار کوتاه است ضمن آنکه مصرف کنندگان نیز محصول را با کیفیت پایین و ارزش تغذیه‌ای کمتر تهیه و مصرف می‌کنند. لذا عملیات پس از برداشت مناسب، فنی، و برنامه ریزی شده سبب افزایش کیفیت محصول می‌شود به ویژه اگر میوه به مسافت‌های دور و به بازارهای بین‌المللی صادر شود.

این محققان همچنین عملیات پس از برداشت زردآلو را در مرحله درجه بندی یکی از عملیات اصلی در زنجیره تولید تا مصرف می‌دانند و می‌گویند در کالیفرنیا محصول را پس از برداشت (که عمدتاً با دست است) طبقه بندی، و درجه‌بندی، و کنترل می‌کنند تا از نظر اندازه یکنواخت باشند زیرا در هر محموله نباید میوه‌هایی باشد که درصد آنها بیش از ۶ میلی‌متر اختلاف دیده شود.

تونی و کاسینی (Tonini and Caccioni, 1990) در تحقیقات سه ساله خود روی تأثیر پیش سرد کردن (Precooling) بر افت وزنی و فساد زردآلو، دو روش پیش سرد کردن با استفاده از هوای سرد و آب سرد را بررسی کردند. آنها نمونه‌های برداشت شده زردآلو را که از نظر درجه رسیدگی یکسان بودند در شرایط مناسب نگهداری کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان می‌دهد که پیش سرد کردن زردآلو باعث کاهش افت وزنی

بر اساس برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور و کمبود منابع نفتی، توسعه صادرات غیر نفتی از اولویت‌های اصلی برنامه دولت است. در بین مواد قابل صدور، محصولات کشاورزی به خصوص محصولات باغی اهمیت خاص دارد. انواع تازه این محصولات دارای ارزش‌آوری خوبی هستند ولی به علت سریع الفساد بودن ضایعات سنگین نیز دارند که موجب ضرر تولید کنندگان و صادر کنندگان می‌شود. یکی از محصولات باغی که مشکلات زیادی در سر راه صادرات آن وجود دارد زردآلوست. این محصول با وجودی که از محصولات بی‌نظیر کشور ما و به ویژه در استان خراسان است، صادرات آن با کیفیت عالی و ضایعات کم ممکن نیست یا بسیار اندک است [۲] و [۳].

سطح زیر کشت زردآلو طبق آمار FAO در دنیا ۴۳۳۹۶۶ هکتار و میزان تولید آن ۲۷۵۴۲۵۶ تن است. بر اساس آمار موجود، در سال زراعی ۷۹-۸۰ سطح زیر کشت زردآلو در کشور ۲۹۰۲۴/۶ هکتار بوده است که استان خراسان پس از آذربایجان شرقی مقام دوم را از نظر سطح زیر کشت با ۳۴۵۷/۵ هکتار داراست. کل تولید زردآلو در کشور ۲۶۶۰۵۰ تن و برای استان خراسان حدود ۷ تن می‌باشد [۳].

کارلوس و کادر (Carlos and Kader, 2000) محدوده ضایعات میوه در مرحله پس از برداشت متغیر و بین ۵ تا ۵۰

پوشش های پلی اتیلن توصیه می کند. زیرا این پوشش می تواند از کاهش رطوبت جلوگیری کند. همچنین توصیه شده است که زردآلو در موقع بسته بندی از اول در ظروف مخصوص فروش بسته بندی شود. جنس این ظروف از پلی اتیلن است و اجازه تبادل گازهای اکسیژن و CO_2 و همچنین بخار آب را نیز فراهم می کند. در صورتی که این تبادل گازها به اندازه کافی نباشد، تجمع CO_2 موجب فساد بیشتر میوه می شود [۶].

حساسیت به سرما در میوه زردآلو در دمای $-3^{\circ}C$ درجه سانتی گراد اتفاق می افتد و نشانه های این سرمازدگی^۲ به صورت قهوه ای شدن بافت، از دست رفتن طعم^۳، و شکستن حالت ژله ای بافت ظاهر می شود. بنابراین نگهداری میوه در دمای صفر درجه سانتی گراد تأثیرات مضر سرمازدگی را به حداقل می رساند. در این تحقیق همچنین از قارچ های بیماریزای مونیلیا (*Monilia fruticola*) و رایزوپوس (*Rhizopus stolonifer*) به عنوان بیماری هایی متداول این میوه ذکر شده است [۱].

برای نگهداری زردآلو در سردخانه، انجمن مهندسی گرمایش و سرمایش آمریکا می گوید این میوه باید سالم و عاری از آسیب دیدگی باشد، فساد باکتریایی، قارچی، یا ناهنجاری فیزیولوژیکی نداشته و آثار کپک یا حمله آفات در آن دیده نشود، میوه ها پس از برداشت نیز در کوتاه ترین زمان ممکن به سردخانه انتقال یابد و در دمای $\pm 0/5^{\circ}C$ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد نگهداری شود [۶].

و کاهش فساد می شود. آنها روش پیش سرد کردن با هوای سرد را مؤثرتر از آب سرد می دانند. میازاکی (Miyazaki, 1983) تأثیر بسته بندی را بر عمر انبارمانی میوه زردآلو بررسی کرد. وی در این تحقیق وارسته های ژاپنی زردآلو را در بسته های پلی اتیلن بسته بندی و گزارش کرد که عمر انباری میوه در دمای $22^{\circ}C$ درجه سانتی گراد حدود ۲ تا ۳ روز است.

زانک و همکاران (Zhangs, et al. 1991) تأثیر بسته بندی پلی اتیلن با ضخامت $0/02$ میلی متر و حاوی مواد جاذب اتیلن را بر خواص زردآلو بررسی کردند. و نتیجه گرفتند که فعالیت آنزیم های تولید کننده اتیلن در بسته های پلی اتیلن بسیار کم است به ویژه اگر در بسته ها مواد جاذب اتیلن استفاده شده باشد.

مؤسسه بسته بندی (Geo Cot) سه نوع استاندارد بسته بندی را برای زردآلو معرفی کرده است که شامل:

بسته بندی یک لایه و ۲۸ تا ۳۸ میوه در هر جعبه میانگین وزن خالص $3/3$ کیلوگرم؛ بسته بندی ۲ لایه (پتاپک) با ۶۴ تا ۹۶ میوه در هر کارتن و میانگین وزن خالص $6/8$ کیلوگرم؛ جعبه هایی که تمام حجم آن پر و وزن هریک حدود ۱۱ کیلوگرم است که در صورت استفاده از این ابعاد استاندارد میوه کمترین آسیب را حین حمل و نقل و نگهداری متحمل می شود [۵].

اشری (انجمن مهندسی گرمایش و سرمایش آمریکا)^۱ پوشاندن بسته های محتوی زردآلو را با

اگزما (Exama, 1993) در تحقیقی خواص پوشش‌های مورد استفاده در بسته بندی میوه و سبزی را بررسی و فرمول زیر را پیشنهاد کرد [۸]:

مخصوص نگهداری زردآلو در دمای ۰/۵- تا ۰/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۹۵ درصد نگهداری شدند.

$$P_x^R = [(WR_x * L) / Ap(y_x^e - y_x^o)]$$

- روش‌ها

در سال اول، پس از انتخاب باغ در اسفند ماه درختان علامت گذاری شدند. در تاریخ ۷۸/۳/۲۰ میوه‌های زردآلو با دقت برداشت و میوه‌های آسیب دیده و آلوده از میوه‌های سالم جدا شدند. سرد کردن اولیه^۱ میوه با کمک آب و یخ و سپس ضدعفونی انجام شد. میوه‌ها با بادبزنی برقی هوادهی شدند. برای بسته بندی در این مرحله، از ظروف غیر قابل انعطاف بدون در و با گنجایش ۲۵۰، ۵۰۰، و ۱۰۰۰ گرم استفاده شد. ظرف‌های حاوی میوه با فیلم پلی اتیلن با ضخامت‌های متفاوت (که پیشتر توضیح داده شد) پوشیده شدند. نمونه‌های شاهد فقط در فیلم بسته بندی شدند. برای تعیین مناسب‌ترین ارتفاع انباشته شدن محصول در حجم ثابت، میوه‌ها یک لایه و دولایه روی هم چیده شدند. پس از بسته بندی با شرایط فوق، میوه‌ها ابتدا در سردخانه ۰/۵- درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۹۰-۹۵ درصد به مدت ۱۲ ساعت و سپس در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد به مدت ۱۲ ساعت نگهداری شدند. پس از ۱۲ ساعت نگهداری در گرمخانه بسته‌ها مجدداً به سردخانه منتقل و در دمای ۰/۵- تا ۰/۵+ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد نگهداری شدند. نمونه‌ها هر دو هفته یک بار از سردخانه خارج می‌شدند و آزمایش‌ها و ارزیابی‌های مخصوص روی آنها صورت گرفت.

که در آن:

$$P_x^R = \text{نفوذ پذیری مورد احتیاج گاز}$$

$$W = \text{وزن محصول}$$

$$R_x = \text{شدت تنفسی محصولات کشاورزی بر حسب اکسیژن}$$

$$L = \text{ضخامت فیلم}$$

$$A = \text{سطح فیلم}$$

$$y_x^e = \text{قسمت حجمی گاز خارجی}$$

$$y_x^o = \text{غلظت بهینه گاز}$$

۴- مواد و روش‌ها:

- مواد

در این پژوهش، از میوه درختان سه ساله زردآلو واریته شاهرودی استفاده شد. برای پیش سرد کردن میوه، روش استفاده آب و یخ به کار گرفته شد. برای ضد عفونی از ماده ضدعفونی کننده پرکلرین (۴ درصد) استفاده شد. برای بسته بندی، ظروف غیر قابل انعطاف از جنس پلی استیرن و با ضخامت ۰/۷ میلی‌متر و بدون در و با گنجایش ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ گرم و همچنین فیلم پلی اتیلن (LDPE) با دانسیته ۰/۹۱ در سه ضخامت ۲۵، ۷۰، و ۱۴۰ میکرومتر جهت پوشش سر بسته‌ها به کار برده شد. پوشش دادن با دست و دوخت با دستگاه دوخت حرارتی انجام شد. میوه‌ها در سردخانه توس مشهد و اتاق

- طرح آماری

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها در سال اول، از طرح کامل تصادفی در قالب طرح فاکتوریل سه عاملی استفاده شد و میانگین‌های حاصل به روش آزمون دانکن مقایسه شدند.

$$R \times A \times B \times C = 54 \text{ = جامعه آماری زردآلو}$$

$$54 = 3 \times 3 \times 3 \times 2 \text{ = تعداد نمونه های زردآلو}$$

$$R = \text{تکرار}$$

$$A = \text{ضخامت فیلم (۲۵، ۷۰، و ۱۴۰ میکرومتر)}$$

$$B = \text{وزن ظرف بسته بندی (۲۵۰، ۵۰۰، و ۱۰۰۰ گرم)}$$

$$C = \text{نحوه چیدن و ارتفاع میوه‌ها (تک لایه، دو لایه)}$$

همچنین جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها در سال دوم، از طرح کاملاً تصادفی جهت مقایسه تیمارها استفاده شد و میانگین‌های حاصل به روش آزمون دانکن مقایسه شدند. در این بخش حرف d برای این تیمار انتخاب شد که چهار تیمار $d_1 = 100$ ، $d_2 = 200$ ، $d_3 = 300$ و $d_4 = 400$ ، تعداد سوراخ در واحد سطح (متر مربع) نامگذاری شدند.

۵- نتایج و بحث:

نتایج این طرح شامل نتایج آزمایش‌های اولیه و نتایج سال اول و دوم و همچنین نتایج آزمایش‌های حسی زردآلوست که در جدول‌های شماره ۱ تا ۵ آمده است.

- خصوصیات نمونه ها پس از برداشت

در جدول شماره ۱ نتایج آزمایش‌های اولیه پس از برداشت میوه زردآلو ارائه شده است.

اندازه‌گیری‌ها در این مرحله شامل: تعیین میزان افت وزنی با استفاده از محاسبه درصد کاهش وزن هر بسته از ابتدا تا تاریخ خروج از سردخانه، مشاهده مستقیم علائم ظاهری فساد میکروبی و ارزیابی آنها، تعیین اسیدیته، pH و میزان مواد جامد انحلال پذیر (TSS) و همچنین آزمون ارزیابی حسی (۵ تایی) بود که خصوصیتی از قبیل ظاهر عمومی میوه، عطر، مزه، رنگ و بافت را شامل می‌شد. پس از بررسی‌های فوق، جمع آوری اطلاعات، و تجزیه و تحلیل آماری آنها، ۲ تیمار به‌عنوان تیمارهای بهینه انتخاب شدند که یکی تیمار با ضخامت پوشش ۲۵ میکرومتر با وزن ۲۵۰ گرم و ارتفاع چیدن دو لایه و دیگری تیمار با ضخامت ۲۵ میکرومتر با وزن ۵۰۰ گرم و ارتفاع چیدن دو لایه.

در سال دوم اجرای طرح، تیمار تعیین تعداد سوراخ‌های مورد نیاز سطح بسته‌ها انجام گرفت. به این منظور روی دو تیمار بهینه، عامل تعداد سوراخ انجام شد که برای هر نوع فیلم ۴ سطح شامل ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ عدد سوراخ در واحد سطح به قطر ۲ میلی‌متر وجود داشت. این تیمارها هم مشابه تیمارهای سال قبل مراحل سردخانه، گرمخانه و سردخانه گذاری نهایی را طی کرد و پس از انجام آزمایش‌های کیفی و کمی و جمع آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل آماری، تیمارهای بهینه بسته بندی انتخاب و معرفی شدند.

جدول شماره ۱- خصوصیات کیفی میوه زردآلو پس از برداشت

میوه	تاریخ برداشت	بریکس اولیه	pH اولیه	اسید قابل تیتر (درصد)
زردآلو	۷۸/۳/۲۰	۱۶/۹	۴/۴۶	۰/۸۷۴

اعداد میانگین سه تکرار هستند.

- نتایج حاصل از آزمایش‌های اصلی طرح در سال اول

نتایج سال اول آزمایش‌ها شامل تأثیر متقابل سه عامل ضخامت لایه، وزن بسته، و ارتفاع چیدن میوه بر خصوصیات میوه زردآلو در جدول شماره ۲ داده شده است.

جدول شماره ۲- تأثیر متقابل ضخامت لایه، ارتفاع، و وزن بسته بر خصوصیات زردآلو

ضخامت لایه (میکرومتر)	وزن بسته (گرم)	ارتفاع بسته (تعداد لایه)	کاهش وزن (درصد)	وزن آفت زده (درصد)	pH	بریکس	اسید قابل تیتر (درصد)
		تک لایه	۱/۲۰۳ f*	۶/۰۷۷ fg	۴/۸۶۷ c	۱۵/۰۰ r	۰/۸۰۳ l
	۲۵۰	دو لایه	۰/۴۹۳ fgb	۳/۰۷۷ fg	۴/۶۳۳ o	۱۶/۸۱ o	۰/۸۷۲ c
		تک لایه	۰/۴۴۳ fgb	۱۹/۳۱ d	۴/۳۱۰ p	۲۰/۰۰ d	۰/۹۰۳ a
۲۵	۵۰۰	دو لایه	۰/۴۲۰ fgb	۷/۷۶ fg	۴/۶۰۰ h	۲۰/۸۱ c	۰/۸۷۲ c
		تک لایه	۲/۵۹۰ e	۱۱/۱۰ ef	۴/۷۰۳ e	۱۷/۸۰ m	۰/۸۷ cd
	۱۰۰۰	دو لایه	۱/۲۲۳ f	۱/۷۷ g	۴/۹۱۰ b	۱۷/۳۰ n	۰/۷۸۶ n
		تک لایه	۰/۶۳۰ fgb	۹/۶۰ fg	۴/۴۶۷ n	۱۹/۷۴ g	۰/۸۷۶ b
	۲۵۰	دو لایه	۰/۵۲۶ fgb	۳۲/۲۸ ab	۴/۵۹۷ i	۲۱/۲۱ e	۰/۸۳۳ j
		تک لایه	۱/۱۱۷ fg	۲۰/۶۶ cd	۴/۵۰۰ m	۱۹/۹۴ e	۰/۸۵۳ f
	۵۰۰	دو لایه	۰/۲۸۰ gh	۵/۳۰ fg	۴/۸۰۷ d	۲۱/۴۰ a	۰/۸۰ m
		تک لایه	۳/۵۸۰ d	۹/۹۵ fg	۴/۵۰۳ l	۱۹/۸۴ f	۰/۸۳۶ i
	۱۰۰۰	دو لایه	۰/۳۸۶ fgb	۳۷/۳۰ a	۴/۶۰۳ g	۱۹/۷۰ h	۰/۸۲۶ k
		تک لایه	۱۰/۶۵ b	۸/۶۵ fg	۴/۵۱۰ k	۱۹/۲۰ j	۰/۸۶۶ d
	۲۵۰	دو لایه	۱۲/۹۰ a	۱۰/۷۲ ef	۴/۶۳۷ f	۱۹/۳۰ i	۰/۸۴۳ h
۱۴۰		تک لایه	۴/۵۷ c	۲۲/۳۹ cd	۴/۵۸۷ j	۱۶/۳۶ q	۰/۸۶۰ e
	۵۰۰	دو لایه	۰/۲۵۳ h	۶/۶۸ fg	۴/۵۹۷ i	۱۶/۴۱ p	۰/۸۳۶ i
		تک لایه	۰/۳۴۰ gh	۱۸/۱۴ de	۴/۴۹۳ a	۱۹/۰۰ k	۰/۸۶۶ d
	۱۰۰۰	دو لایه	۰/۴۸۶ fgb	۲۸/۵۴ bc	۴/۵۹۷ i	۱۸/۰۰ l	۰/۸۵۰۰ g
		شاهد	۱۲/۰۰ a	۳۵/۴۰ ab	۴/۴۷ n	۱۷/۸۳ m	۰/۸۵۰۰ g

* حروف مشترک نشانه نبود اختلاف معنی دار تیمارها در هر ستون در سطح ۵ درصد است.

جدول شماره ۳ مقایسه میانگین رنگ نمونه‌ها را در ارتباط با عوامل مورد آزمایش نشان می‌دهد. لازم است گفته شود که مقایسه‌های میانگین سایر خواص حسی به دلیل معنی دار نبودن ذکر نشده است.

جدول شماره ۳- مقایسه میانگین تأثیر برهمکنش ضخامت لایه، وزن بسته و تعداد لایه بر رنگ			
رنگ	ارتفاع بسته	وزن بسته	ضخامت لایه
(درصد)	(تعداد لایه)	(گرم)	(میکرومتر)
۴/۲۵۰ab*	تک لایه		
۴/۵۰ a	دو لایه	۲۵۰	
۴/۲۵ ab	تک لایه		۲۵
۴/۷۵ a	دو لایه	۵۰۰	
۴/۲۵ ab	تک لایه		
۲/۲۵fgh	دو لایه	۱۰۰۰	
۳/۰۰def	تک لایه		
۳/۲۵cde	دو لایه	۲۵۰	
۳/۵۰bcd	تک لایه		
۱/۷۵gh	دو لایه	۵۰۰	۷۰
۴/۰۰abc	تک لایه		
۱/۵۰b	دو لایه	۱۰۰۰	
۳/۲۵cde	تک لایه		
۲/۵۰efg	دو لایه	۲۵۰	
۲/۵۰ efg	تک لایه		
۲/۵۰ efg	دو لایه	۵۰۰	۱۴۰
۲/۷۵def	تک لایه		
۲/۵۰ efg	دو لایه	۱۰۰۰	
۲/۷۵def		شاهد	

* حروف مشترک هر ستون نشانه نبود اختلاف معنی دار تیمارها در سطح ۵ درصد است.

- نتایج آزمایش‌های میوه زردآلو در سال دوم

در سال دوم، برای میوه زردآلو عامل تعداد سوراخ در واحد سطح فیلم بسته بندی روی تیمارهای بهینه انتخاب شده از سال اول اجرا شد. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج آماری نشان داد که اعمال تیمار در تمام خصوصیات در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری دارند و مقایسه‌های میانگین در جدول شماره ۵ مشاهده می‌شود. در این قسمت، عامل تعداد سوراخ به عنوان تیمار (d) در نظر گرفته شد و در چهار سطح اعمال گردید. در جدول شماره ۴، منظور از (۱) و (۲) تیمارهای بهینه انتخاب شده از نتایج سال قبل در مورد میوه زردآلوست که در بخش روش‌ها معرفی شدند. این دو تیمار با توجه به نتایج به دست آمده و بررسی شرایط اقتصادی تفاوت معنی‌دار ندارند و می‌توان هر دو آنها را در نظر گرفت.

جدول شماره ۴- مقایسه اثر تیمارهای مختلف بر خصوصیات کیفی زردآلو

کاهش وزن	وزن افت زده	pH	بریکس	اسید قابل تیتر	تیمار
(درصد)	(درصد)		(درصد)	(درصد)	
۰/۶۲۳c*	۲/۲۳c	۳/۹۵b	۱۶/۰۰bc	۰/۸۰ab	(۱) d _۱
۰/۴۶۶dc	۲/۱۰c	۳/۹۱b	۱۵/۸۶cde	۰/۷۶۶c	(۱) d _۲
۰/۹۴۳b	۲/۶۰bc	۳/۹۶b	۱۶/۱۰bc	۰/۷۶۶c	(۱) d _۳
۱/۰۲۶b	۲/۶۶bc	۳/۹۶b	۱۶/۲۰bc	۰/۷۵۳c	(۱) d _۴
۰/۵۵۶dc	۲/۰۶c	۳/۸۴b	۱۵/۸۳cd	۰/۸۰ab	(۲) d _۱
۰/۲۳۰dc	۰/۶۳۳d	۴/۲۰a	۱۴/۸۳e	۰/۷۳۳d	(۲) d _۲
۱/۳۸a	۱/۶۳cd	۳/۹۳b	۱۶/۰۰bc	۰/۷۶۶c	(۲) d _۳
۱/۲۶ab	۱/۸۳c	۳/۸۵b	۱۵/۹۳c	۰/۷۹۰b	(۲) d _۴
۰/۴۹۶dc	۳/۴b	۳/۹۱b	۱۷/۱۶a	۰/۷۹۳ab	(۱)**
۰/۳۱dc	۶/۱a	۳/۹۶b	۱۶/۵۰b	۰/۸۰۶a	(۲)**

* حروف مشترک نشانه نبود اختلاف معنی دار تیمارها در هر ستون در سطح ۵ درصد است.

** شاهد (تیمارهای بهینه سال قبل)

جدول شماره ۵، مقایسه ویژگی‌های حسی میوه زردآلو در اثر اعمال تیمار تعداد سوراخ را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۵ - مقایسه اثر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های حسی میوه زردآلو					
تیمار	بافت	عطر	رنگ	مزه	مقبولیت کلی میوه
(۱) d _۱	۳/۷۵ab*	۴/۰۰ab	۴/۰۰a	۴/۵۰a	۴/۷۵a
(۱) d _۲	۳/۲۵bc	۳/۲۵bcd	۳/۵۰a	۳/۷۵abc	۳/۷۵bc
(۱) d _۳	۳/۰۰bc	۳/۰۰cd	۳/۲۵ab	۳/۲۵bcd	۳/۲۵cd
(۱) d _۴	۲/۲۵c	۲/۷۵cd	۲/۵۰b	۲/۷۵cd	۲/۵۰d
(۲) d _۱	۴/۵۰a	۴/۵۰a	۴/۰۰a	۴/۲۵ab	۴/۵۰ab
(۲) d _۲	۳/۵۰ab	۳/۵bc	۳/۷۵a	۳/۵۰abcd	۳/۵۰c
(۲) d _۳	۳/۰۰bc	۳/۲۵bcd	۳/۵۰a	۲/۷۵cd	۳/۲۵cd
(۲) d _۴	۳/۰۰bc	۲/۵۰d	۲/۵۰b	۲/۵۰d	۲/۵۰d
(۱)**	۳/۰۰bc	۳/۰۰cd	۳/۲۵ab	۳/۲۵bcd	۳/۲۵cd
(۲)**	۳/۲۵bc	۲/۷۵cd	۳/۲۵ab	۳/۲۵bcd	۳/۲۵cd

*حروف مشترک نشانه نبود اختلاف معنی‌دار تیمارها در هر ستون در سطح ۵ درصد است.

** شاهد (تیمارهای بهینه سال قبل)

تأثیر متقابل سه عامل ضخامت، ارتفاع، و وزن بسته بر افت وزنی میوه زردآلو در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین درصد کاهش وزن مربوط به تیمار شاهد و تیمار با ضخامت پوشش ۱۴۰ میکرومتر؛ ارتفاع دو لایه و وزن ۲۵۰ گرم است که می‌تواند مربوط به ارتباط مستقیم نفوذ پذیری لایه با ضخامت پوشش باشد. در مورد وزن بسته نیز می‌توان استدلال کرد که وزن بسته با نفوذ پذیری رابطه مستقیم دارد و هرچه نفوذپذیری نسبت به گاز بیشتر شود کاهش وزن بیشتر است. این نتایج با تحقیقات اگرما (۱۹۹۳) مطابقت دارد.

بر اساس فرمول اگرما، نفوذ پذیری لایه با ضخامت لایه و مقدار و وزن میوه ارتباط مستقیم دارد. بنابراین با افزایش ضخامت لایه، نفوذ پذیری آن نسبت به گازها افزایش می‌یابد و در نتیجه کاهش وزن آن بیشتر است.

$$P_x^R = [(WR_x * L) / Ap(y_x^e - y_x^o)]$$

همچنین مشاهده می‌شود که هرچه ارتفاع چیدن میوه بیشتر شود کاهش وزن بیشتر است. البته

همین تیمار در ارتفاع تک لایه هم افت وزنی بالایی را نشان می‌دهد که این تغییرات به دلیل شرایط نگهداری نمونه در سردخانه و ایجاد قطره‌های بخار آب داخل بسته است که نفوذپذیری را تغییر و سرعت تنفس محصول را افزایش می‌دهد. بعضی از نمونه‌ها به دلیل باز و بسته شدن و گاهی بازماندن در سردخانه دچار تغییرات دما شده بودند و در نتیجه تعرق و ایجاد قطره‌های آب در بسته می‌نماید.

نتایج این بخش نیز با اطلاعات منتشره شده از سوی موسسه Geo Cot مطابقت دارد که استاندارد بسته بندی زردآلو را یک لایه و دو لایه معرفی می‌کند.

بیشترین وزن میوه آفت زده مربوط به پوشش دارای ضخامت ۷۰ میکرومتر است و کمترین آن مربوط به ۲۵ میکرومتر. همچنین در مورد حجم بسته، بیشترین وزن میوه آفت زده مربوط به ۱۰۰۰ گرم و کمترین آن مربوط به وزن ۲۵۰ گرم است. با افزایش وزن و توده میوه وزن آفت زده افزایش می‌یابد، زیرا با افزایش وزن و توده میوه امکان آفت زدگی و انتقال آن به میوه‌های سالم بیشتر است. در مورد ارتفاع چیدن میوه، نتایج آزمون t نشان داد که اختلاف معنی‌دار بین تک لایه و دو لایه در مورد وزن آفت زده میوه زردآلو وجود ندارد ولی به طور کلی هرچه ارتفاع چیدن میوه بیشتر باشد، وزن میوه آفت‌زده به دلیل تماس بیشتر میوه‌های سالم و معیوب افزایش می‌یابد. بیشترین وزن میوه آفت زده مربوط به تیمار با ضخامت ۷۰ میکرومتر با وزن ۱۰۰۰ گرم و ارتفاع دو لایه و سپس شاهد بود و

کمترین مقدار مربوط به تیمار به ضخامت ۲۵ میکرومتر و وزن ۱۰۰۰ گرم و ارتفاع دو لایه بود. نزدیکترین pH به pH اولیه میوه (۴/۴۶) مربوط به تیمار ۲۵ میکرومتر است و دورترین آن مربوط به ۱۴۰ میکرومتر است. اصولاً میزان pH به دلیل کاهش اسیدهای آلی پس از برداشت افزایش می‌یابد که این در مورد میوه‌های کلایمکتریک سریع‌تر و در مورد غیر کلایمکتریک‌ها کندتر انجام می‌شود. که در مورد زردآلو این افزایش محسوس‌تر و سریع‌تر است. کاهش اسیدیته و افزایش pH به علت شرکت اسید در تنفس یا تبدیل آن به قند است. این کاهش در مورد تمام میوه‌ها به غیر از موز و آناناس وجود دارد [۴]. از لحاظ بسته‌های میوه، نزدیک‌ترین pH به pH اولیه مربوط به بسته‌های ۲۵۰ گرمی است و در مورد ارتفاع چیدن میوه‌ها، ارتفاع دو لایه نزدیک‌ترین pH را داشت. در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود که نزدیک‌ترین pH به مقدار اولیه مربوط به ضخامت ۲۵ میکرومتر، بسته دارای وزن ۲۵۰ گرم، و ارتفاع دو لایه است.

نزدیک‌ترین اسیدیته به مقدار اسیدیته اولیه مربوط به ضخامت ۲۵ میکرومتر است. اسیدیته نیز، همان‌طور که در مورد pH توضیح داده شد، با افزایش زمان نگهداری کاهش می‌یابد. بسته‌های ۵۰۰ گرمی نزدیک‌ترین اسیدیته را به نمونه اولیه نشان می‌دهند. و در مورد ارتفاع بسته نیز ارتفاع دو لایه این حالت را دارد. جدول شماره ۲ تأثیر متقابل عوامل را بر اسیدیته نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تیمارهای ۲۵ میکرومتر با وزن ۲۵۰ و ۵۰۰ گرم و ارتفاع دو لایه نزدیک‌ترین اسیدیته را

به نمونه اولیه نشان می دهند. شرایط هستند که عبارت اند از: تیمار با ضخامت ۲۵ میکرومتر با وزن ۲۵۰ گرم و ارتفاع چیدن دو لایه و تیمار با ضخامت پوشش ۲۵ میکرومتر با وزن ۵۰۰ گرم و ارتفاع چیدن دو لایه.

بیشترین افت وزنی، مربوط به تیمار d_3 (۲) است و کمترین آن به تیمار d_2 (۲) اختصاص دارد. d_2 (۲) تیماری است که در آن ضخامت لایه ۲۵ میکرومتر، وزن بسته ۲۵۰ گرم با ارتفاع دو لایه و تعداد سوراخ ۲۰۰ است. تیمارهای d_3 (۱) و d_4 (۱) که به ترتیب ۳۰۰ و ۴۰۰ سوراخ در واحد سطح دارند اختلافی معنی دار با این تیمار ندارند. کمترین افت وزنی مربوط به تیمار d_1 (۲) است. d_1 (۲) تیماری است که در آن ضخامت پوشش ۷۰ میکرومتر، وزن ۵۰۰ گرم و ارتفاع دو لایه و تعداد سوراخ در واحد سطح ۱۰۰ است. مشاهده می شود که هر چه تعداد سوراخ بیشتر شود افت وزنی بیشتر می شود و این به دلیل تبادلات گازی با محیط خارج و افزایش نفوذ پذیری پوشش است، منتها وقتی تعداد سوراخ ۱۰۰ است به دلیل اینکه تعادل و تبادلات به حد مناسب و بهینه رسیده است و بسته بندی حالت MAP^۱ از نوع انفعالی را ایجاد می کند افت وزنی کمترین است. بیشترین وزن آفت زده مربوط به تیمار ۲ شاهد و کمترین آن مربوط به تیمار d_2 (۲) است. نزدیکترین pH به pH اولیه زردآلو در سال دوم (۳/۸۹)، تیمار (۱) شاهد و d_2 (۱) است البته بین تیمارها d_1 (۱)، d_2 (۱)، d_3 (۱)، d_4 (۱)، d_1 (۲) و d_2 (۲) اختلافی معنی دار وجود ندارد. نزدیکترین اسیدیته به اسیدیته اولیه نمونه زردآلو در سال دوم (۰/۸۷۴) مربوط به تیمارهای d_1 (۲) و (۲) شاهد و دورترین اسیدیته مربوط به d_3

در جدول شماره ۲ تأثیر ضخامت لایه بر بریکس مشخص شده است. مشاهده می شود که نزدیکترین بریکس به بریکس اولیه میوه زردآلو مربوط به ضخامت ۲۵ میکرومتر است همچنین در مورد وزن بسته که در جدول شماره ۲ مشاهده می شود نزدیکترین بریکس مربوط به بسته های ۲۵۰ گرمی است و در مورد ارتفاع چیدن میوه نیز تیمار دو لایه نزدیکترین بریکس را نشان می دهد. همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، در مورد زردآلو که میوه ای کلایمکتریک است به دلیل تبدیل نشاسته به قند و افزایش قند (شاخص اصلی بریکس در میوه ها) بریکس افزایش می یابد [۴] نتایج این تحقیق هم دلالت بر این مسئله دارد.

در مورد ویژگی های حسی میوه زردآلو، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها عامل رنگ است که در تیمارها تأثیری معنی دار دارد. بیشترین امتیاز از نظر رنگ به تیمارهای پوشش با ضخامت ۲۵ میکرومتر با وزن ۲۵۰ و ۵۰۰ گرم و نحوه چیدن دو لایه برابر ۴/۵ است. در مورد بافت نیز تیمار پوشش با ضخامت ۲۵ میکرومتر با وزن ۲۵۰ گرم و ارتفاع یک لایه بیشترین امتیاز یعنی ۴/۵ را دارد. در مورد عطر هم پوشش با ضخامت ۲۵ میکرومتر با وزن ۲۵۰ گرم و ارتفاع دو لایه بیشترین امتیاز (۴/۲۵) را دارد. در مورد مزه و ظاهر عمومی نیز همین تیمار بیشترین امتیاز (۴/۷۵ و ۴/۵) را به خود اختصاص می دهد.

با جمع بندی نتایج خصوصیات کیفی و ویژگی های حسی میوه زردآلو در سال اول، دو تیمار به عنوان تیمار بهینه انتخاب شدند که حائز تمام

(۲) است. مقایسه میانگین بریکس نشان می دهد که d_1 (۱) داده شد.

نزدیک ترین بریکس به نمونه اولیه (۱۵/۸) مربوط به

تیمار d_1 (۲) و دورترین مقدار تیمار (۱) شاهد

است.

۶- نتیجه گیری:

پس از بررسی نتایج خصوصیات فیزیکی و

شیمیایی و ویژگی های حسی، بهترین تیمار جهت

بسته بندی زردآلوی شاهرودی به شرح زیر انتخاب

شد: تیماری که در آن از پوششی با ضخامت ۲۵

میکرومتر استفاده شود، وزن بسته ۵۰۰ گرم، ارتفاع

چیدن دو لایه، و مقدار سوراخ در واحد سطح ۱۰۰

باشد.

در مورد بافت بیشترین امتیاز به تیمار

d_1 (۲) (۴/۵) تعلق دارد. در مورد عطر نیز بیشترین

امتیاز را همین تیمار دارد (۴/۵). در مورد ویژگی

رنگ بیشترین امتیاز به تیمار d_1 (۲) و d_1 (۱) داده

شد و کمترین امتیاز را تیمار d_4 (۲) و d_4 (۱) دارند.

در مورد مزه و ظاهر عمومی، بیشترین امتیاز به تیمار

۷- مراجع:

۱- ایماندل، ک.، صادق زاده، ع. ۱۳۷۴. عوامل فساد و شرایط نگهداری مواد غذایی در سردخانه، دانشگاه تهران.

۲- بلوریان تهرانی، م. ۱۳۷۳. راهنمای بسته بندی کالاهای صادراتی (میوه ها و سبزیهای تازه). مؤسسه مطالعات و

پژوهشهای بازرگانی .

۳- آمارنامه کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۸۰ . معاونت برنامه ریزی و اقتصادی. دفتر آمار و فن آوری

اطلاعات شماره (۸۰/۰۳).

۴- میدانی، ج. دزفولی، س. ا. ۱۳۷۶. فیزیولوژی پس از برداشت. نشر آموزش کشاورزی کرج. ۴۰۳ صفحه.

5- Anon. 1995. Packaging and packing. Geo Cot. Internet 2002.

6- ASHRAE. Handbook. 1986. Refrigeration systems and applications. ASHRAE, inch. Pound. Edition American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.

7-Carlos, H. and Kader, A. 2000. Apricots; Post-harvest quality maintenance guidelines. <http://Postharvest.UCDavis.Edu/produce/producefacts>.

8-Exama, J. 1993. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. J. of Food. Sci. 58 (6): 1365-1370.

9-Miyazakis, T. 1983. Effects of seal packaging and ethylene removal in the sealed bags on the shelf life of Japanese apricot. J. Japanese Society for Horticultural Science. 60 (1): 183- 190.

-
- 10- Tonini, G. and Caccioni, D. 1990. Precooling of apricot, influence on rot, ripening and weight loss. <http://www.actahort.org>.
- 11- Zhang, S., Chachir, K. and Iwato, T. 1991. Effects of polyethylene packaging and ethylene absorbent on storage of mature - green mume. *Journal Japanese Society for Horticultural Science*. 60 (1): 185-190.

Effects of Film Thickness, Fruit Arrangement (One or Two Layer) and Packaging Size on Apricot Shelf Life

Z. Sheikhol eslami and M. A. Shahbake

Fruits and vegetables are highly perishable and require proper post harvest management, using appropriate techniques for handling, packaging and storage to minimize loss. This study was ran to minimize loss and export development of fresh fruit (apricot), and carried out in three steps; 1. Post harvest process for all treatments was precooling, disinfection and removing water drop 2. Packaging treatments were also: different thicknesses of films, size and heights of packages 3. Storage after packaging. Condition of storage after packaging for all treatments was: cold storage with 90-95% relative humidity and -0.5°C, curing room with 70% relative humidity and 40°C and cold storage with 90-95% relative humidity and -0.5 to +0.5°C. Treatments were evaluated by chemical, physical and organoleptic tests. Data compared with statical analysis. Results showed that the best treatment for apricot packaging was: pack size 500gr, fruit high in pack 2 layer, film thickness 25 μm and 100 holes on area unit.

Key words: Apricot, Cold Storage, Film Thickness, Packaging, Post harvest Practices

Contents:

Water Use Efficiency and Yield of Sugar Beet under Sprinkler and Furrow Irrigation A. Haghayeghi, Gh. Tohidloo and H. Sadreghaen	1
The Effect of Furrow Irrigation, Single Row and Double Row Planting on Water Use Efficiency, Quantity, and Quality of Sugar Beet Yield M. Torabi and M. R. Jahad Akbar	15
Effects of Water Stress at Different Stages of Growth on Yield and Fruit Quality of Two Tomato Varieties H. Mousavi Fazl and A. R. Mohammadi	27
Determination of Shear Modulus of Elasticity of Soils for Application in Plaxis Model M. Jafari Bary	41
Effects of Hub Round Speed and Outlet Area in Milling Machine on Breakage of Rice Grains Sh. Ghavami, A. M. Borghei and A. Tabatabaefar	53
Determination of Energy Consumption in Traditional and Semi-Mechanized Methods for Rice Production (A Case Study in Gilan Province) M. H. Payman, Gh. R. Rouhi and M. R. Alizadeh	67
Numerical Simulation of the Dynamic Behaviour of Agricultural Particulate Materials Using a Suitable Discrete Element Model M. H. Abaspour Fard	81
Investigation of the Effects of Drying Parameters on Rice Cracking and Breakage During Milling S. Minaei, Gh. R. Rouhi and M. R. Alizadeh	97
The Effect of Multi Pass Drying on Milling Yield and Drying Time of Paddy K. Tajaddodi Talab	113
Effects of Film Thickness, Fruit Arrangement (One or Two Layer) and Packaging Size on Apricot Shelf Life Z. Sheikholslami and M. A. Shahbake	125

Journal of Agricultural Engineering Research

Vol. 6 No. 22 Spring 2005

Published by: Agricultural Engineering Research Institute (AERI)

Executive Director: A. Javadi Ph. D.

Editor in chief: M. Almasi

Editorial Board:

M. Almasi	Ph. D.
Z. Emamjomeh	Ph. D.
P. Irani	Ph. D.
A. Javadi	Ph. D.
A. Keshavarz	M. Sc.
A. R. Keyhani	Ph. D.
M. H. Omid	Ph. D.
E. Pazira	Ph. D.
H. Rahimi	Ph. D.
M. A. Sahari	Ph. D.
M. Shahedi	Ph. D.
A. Tabatabaefar	Ph. D.
Gh. Zarei	Ph. D.

Editor: M. R. Daahi

Coordinating Manager: H. Behmadi M. Sc.

Reviewers:

- N. Abbasi	- A. K. Kashi	- B. Mostafazadeh	- M. Shahedi
- R. Alimardani	- A. R. Keyhani	- S. F. Mousavi	- M. Shaker
- M. Almasi	- M. H. Khoshtaghaza	- Sh. Rafee	- H. Siadat
- M. H. Davoudi	- A. Khosroshahi Asl	- R. Rafezi	- A. Tabatabaefar
- S. M. Ebrahim Zadeh Mousavi	- M. H. Kianmehr	- M. Rahemi	- B. Tajeddin
- Z. Emam Jomeh	- A. R. Kouchaki	- H. Rahimi	- A. J. Zarbakhsh
- D. Fatholah Taleghani	- A. M. Liaghat	- A. Rajabipour	- M. Kh. Zia Tabarahmadi
- H. R. Gazor	- S. Minaei	- A. Sepaskhah	
