

طراحی و ساخت دماغه مخصوص جمع‌آوری کشمش و بررسی آسیب مکانیکی وارد بر محصول حین جمع‌آوری

حامد رمضانی^۱، محمد هادی خوش تقاضا^{۲*}، سعید مینایی^۳ و غلامرضا اکبری‌زاده^۴

چکیده

کشور ایران یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین کشورهای تولید کننده کشمش در جهان به شمار می‌رود. با توجه به میزان و ارزش صادرات کشمش در ایران، ماشینی نمودن جمع‌آوری این محصول همراه با حفظ کیفیت مکانیکی آن، از ضروری‌ترین کارها در این زمینه است. لذا هدف اصلی این پژوهش طراحی و ساخت دماغه جمع‌آوری در ماشین خودکار جمع‌آوری محصول کشمش از سطح زمین و سپس ارزیابی آسیب مکانیکی وارد بر محصول حین جمع‌آوری توسط دماغه است. پس از انجام طراحی نرم‌افزاری، انجام محاسبات لازم برای انتخاب بخش‌های مختلف دستگاه و ساخت دماغه، ارزیابی ماشین بر روی کشمش‌های پهن شده بر سطح زمین در سه سرعت پیشروی ماشین (۱، ۲ و ۳ km/h) و سه ارتفاع دماغه (۲، ۵ و ۱۰ mm) از سطح زمین صورت گرفت. دماغه ساخته شده با دهانه‌ای به طول ۸۰ cm بر روی ماشین خودکاری با ابعاد تقریبی ۷۰ × ۵۰ cm سوار شد. ظرفیت کاری این ماشین در سرعت دورانی ۲۵ rpm برس جمع‌آوری، برابر با ۳/۳ kg/min است، و در هر ۱۵ دقیقه قادر به پر نمودن مخزن ۸۰ کیلوگرمی است. نتایج ارزیابی نشان داد اثر سرعت پیشروی و ارتفاع دماغه بر آسیب مکانیکی معنی‌دار است ($p < 0.01$) ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نیست. هم‌چنین کم‌ترین آسیب مکانیکی (۱۱٪) در برداشت کشمش، مربوط به ارتفاع ۲ میلی‌متری دماغه از سطح زمین بود. آسیب مکانیکی به محصول در سرعت پیشروی ۱ km/h نسبت به دو سرعت دیگر به میزان ۸ درصد، کاهش داشت.

واژه‌های کلیدی: برس جمع‌آوری، ماشین خودکار، کشمش آفتابی، انتخاب موتور، انتقال توان.

ارجاع: رمضانی ح. خوش تقاضا م. ه. مینایی س. و اکبری‌زاده غ. ۱۴۰۲. طراحی و ساخت دماغه مخصوص جمع‌آوری کشمش و بررسی آسیب مکانیکی وارد بر محصول حین جمع‌آوری. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۷: ۱۵-۲۵. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.13979.604>

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۳- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۴- دانشیار گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

* نویسنده مسئول: khoshtag@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۷

مقدمه

کشور ایران یکی از بزرگترین و مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده کشمش در جهان به شمار می‌رود (Nejatian, 2018). بررسی‌های اقتصادی نشان می‌دهد که محصول انگور و فرآورده‌های آن که شامل کشمش و شیره هستند، بعد از پسته و خرما می‌تواند در ردیف بزرگ‌ترین اقلام صادرات غیر نفتی کشور قرار گیرد (Khatabi, 2013). لذا با توجه به وسعت کشت انگور و اهمیت اقتصادی آن، اجرای یک تحول اساسی با برنامه‌ریزی اصولی و علمی در سامانه‌های تاک‌داری، و هم‌چنین سامانه‌های جمع‌آوری، حمل و نقل و کلیه مراحل پس از برداشت در ایران تا مرحله صادرات به منظور کاهش هزینه تولید و افزایش عملکرد، یکی از ضروری‌ترین کارهایی است که در این زمینه بایستی انجام شود (Sultanzadeh, 2010).

کشمش را معمولاً به چهار روش صنعتی، آفتابی، سایه خشک و اسیدی تهیه می‌کنند. روش آفتابی یکی از روش‌های رایج فرآوری انگور است که بیش از ۶۰ درصد از انگورهای ایران به این روش خشک می‌شوند (Sultanzadeh, 2010)، یعنی معمولاً انگور را روی سطح صافی از سیمان پهن می‌کنند.

متأسفانه جمع‌آوری و فرآوری این محصول، اغلب با روش‌های اولیه سنتی و با استفاده از نیروی انسانی و کاری وقت‌گیر و خسته‌کننده است. با توجه به افزایش جمعیت، نیاز بشر به مواد غذایی نیز روز به روز افزایش یافته است. از طرفی دیگر با گسترش شهرنشینی و خروج نیروی انسانی از بخش کشاورزی، کشورهای مختلف با چالش کمبود نیروی انسانی در بخش کشاورزی مواجه‌اند. پیشرفت‌های روز افزون و ماشینی شدن امور بشری یا جایگزینی ماشین به جای نیروی انسانی، در صنعت کشاورزی نیز همانند سایر صنایع باعث افزایش بازدهی و دقت کار می‌گردد. لذا طراحی و توسعه ماشین‌آلات جمع‌آوری و فرآوری کشمش می‌تواند به صنعت رونق بخشد و به دست اندرکاران تجارت کشمش کمک کند.

امروزه طراحی ماشین‌ها با استفاده از نرم افزارهای طراحی و بر مبنای اصول نوین علمی و صنعتی و اطلاعات حاصل از روش‌های تحقیقی صورت می‌پذیرد (Budynas & Nisbett, 2015). فناوری‌های پس از برداشت و ماشین‌های خودکار در زمینه کشاورزی (Chakra Kumar et al., 2017; Radcliffe et al., 2018;)

(Ramezani et al., 2016) نیز به عنوان یکی از صنایع مورد توجه و پررونق، مستلزم رعایت اصول طراحی و ساخت، برای جلوگیری از اتلاف زمان و هزینه است. نرم‌افزارهای معتبر موجود در دنیا، کارهای طراحی را بسیار تسهیل نموده و علاوه بر کاهش زمان و هزینه در فرایند طراحی موجب افزایش دقت نیز می‌گردند. نرم‌افزار Solidworks یکی از این نرم‌افزارهای بسیار قدرتمند در زمینه طراحی مکانیکی سه بعدی است که در این پژوهش به منظور طراحی از آن استفاده گردید. در ادامه برخی از پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه طراحی ماشین‌ها و همچنین ماشین‌های جمع‌آوری ذکر می‌گردد. در پژوهشی، طراحی و ساخت دستگاه جمع‌آوری و بارگیری بسته‌های مکعبی شکل علوفه مورد بررسی قرار گرفت (Rasooli Harouni, 2013). این دستگاه قابلیت شناسایی خودکار بسته‌ها، توان تنظیم ارتفاع و انتقال بسته تا ارتفاع ۵ متر را دارا بود. محققان دیگری به معرفی دستگاه جمع‌آوری گردو از سطح زمین پرداختند (Bayat & Mahjoub, 2009). این دستگاه به صورت مکانیکی گردوهای افتاده بر روی زمین را در ردیف‌هایی در قسمت میانی درخت‌ها جمع‌آوری نموده و پس از جدا نمودن برگ‌ها و اجزا زاید، گردوها را درون باربر قرار می‌دهد. در پژوهشی دیگر، به منظور جمع‌آوری محصول سیب زمینی پس از برداشت از سطح زمین زراعی، ماشین جمع‌آوری و کیسه‌کن طراحی و ساخته شد (Ahangarnejad et al., 2010). این طرح شامل: بازوی هدایت‌گر با میکروسوییچ، موتور الکتریکی، ناودانی انتقال و تخلیه، نگهدارنده کیسه، سکوی توزین و سامانه تحویل داده بود. این ساختار محصول را پس از جمع‌آوری از روی زمین درون کیسه ریخته، وزن کرده و سپس تخلیه می‌نمود. ماشین خودگردان سه چرخ برداشت غوزه‌های باز پنبه توسط محققانی ساخته شد (Rostami et al., 2017). واحد بردارنده مخصوص آن توسط کارگر در بین بوته‌ها حرکت داده شده و وش غوزه‌های باز را برداشت می‌کرد. واحد بردارنده تشکیل شده از تعدادی انگشتی که توسط یک موتور الکتریکی می‌چرخد و وش غوزه‌های باز را از داخل غوزه بیرون کشیده و به لوله انتقال می‌رساند. وش برداشت شده توسط دو مکانیزم مکش و دهنش هوا به مخزن منتقل می‌گردد. سپس داخل کیسه‌های بزرگی (خلال) جمع‌آوری شده و در انتهای مزرعه تخلیه

افزایش میزان فروش و صادرات در مدت زمان کمتر نسبت به گذشته خواهد شد. هدف اصلی این پژوهش طراحی و ساخت دماغه جمع‌آوری در ماشین خودکار جمع‌آوری محصول کشمش از سطح زمین و سپس ارزیابی آسیب مکانیکی وارد بر محصول کشمش حین جمع‌آوری توسط دماغه جمع‌آوری است.

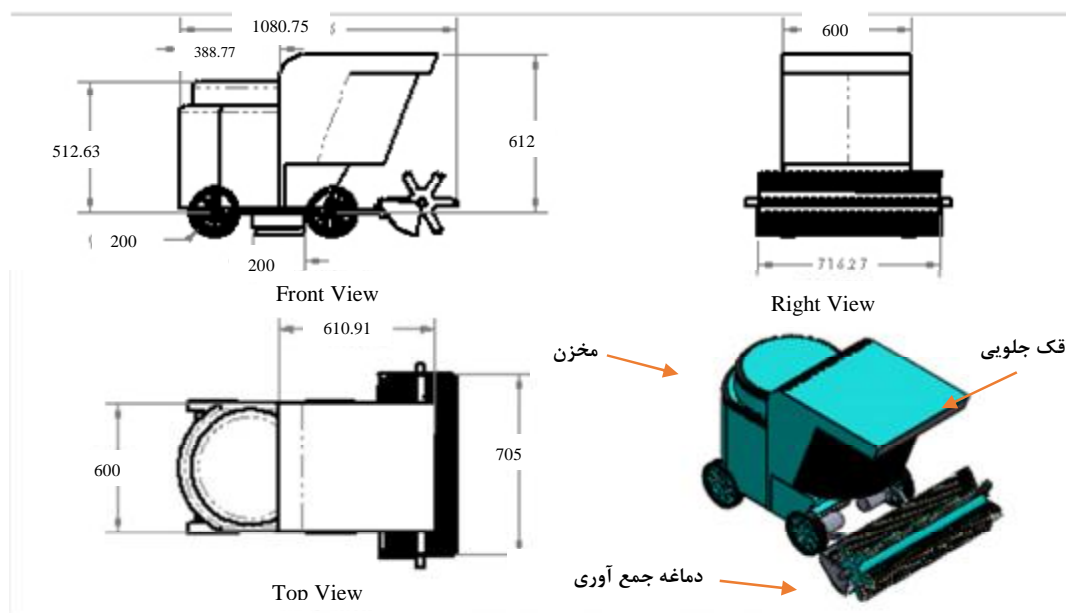
مواد و روش‌ها

مشخصات ماشین جمع‌آوری خودکار کشمش

ماشین با ابعاد بیان شده در شکل ۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران ساخته شد. ظرفیت کاری این ماشین در سرعت دورانی ۲۵ rpm برس جمع‌آوری و در سرعت پیشروی ۱ km/h، برابر است با ۳/۳ kg/min، و در هر ۱۵ دقیقه قادر به پر نمودن مخزن ۸۰ کیلوگرمی دستگاه است. سرعت پیشروی تعیین شده با توجه به نوع موتورهای انتخابی، ابعاد ماشین و مخزن، و همچنین محاسبات پرشدن مخزن با توجه به سرعت دوران موتورها، در محدوده ۱ الی ۳ km/h انتخاب شد. در بخش جلویی ماشین، دماغه مخصوصی برای جمع‌آوری محصول کشمش سوار شده است. شماتیک ماشین خودکار جمع‌آوری کشمش در شکل ۱ قابل مشاهده است.

می‌گردد. در پژوهشی، ماشین جمع‌آوری زباله نیمه اتوماتیک برای مسیرهای پیاده رو، طراحی و ساخته شد، که هدایت این ماشین از طریق کنترل از راه دور انجام می‌شد (Brijesh *et al.*, 2019). در پژوهشی دیگر دستگاه نمونه تزریق باگاس را در محیط نرم‌افزار CATIA طراحی شد. در طراحی این دستگاه از محیط‌های مختلف نرم‌افزار استفاده شد. طراحی و تحلیل شاسی یک دستگاه برگ جمع‌کن با ظرفیت ۱۰۰۰ کیلوگرم نیز در پژوهشی دیگر توسط نرم‌افزار Solidworks انجام شد (Azadbakht *et al.*, 2014). محققانی، به منظور مقاوم‌سازی و بهینه‌سازی دستگاه برگ جمع‌کن، به طراحی شاسی و مخزن آن با استفاده از نرم‌افزار Solidworks و تحلیل استاتیکی آن پرداختند (Ghaffari *et al.*, 2016).

با بررسی عواملی چون کمبود نیروی انسانی در امر جمع‌آوری به صورتی دستی محصول کشمش و همچنین وقت‌گیر بودن آن، و در راستای رفع این نیاز، ماشین خودکاری برای جمع‌آوری محصول کشمش آفتابی از سطح زمین سیمانی در محیط باز بارگاه‌های کشمش و در هنگام روشنایی روز طراحی و ساخته شد. در واقع با طراحی و ساخت این ماشین، به عنوان اقدامی نوین، نیاز به نیروی انسانی در این زمینه کاهش یافته و متعاقباً راندمان جمع‌آوری محصول کشمش از سطح زمین نیز افزایش خواهد یافت، که این امر به نوبه خود باعث

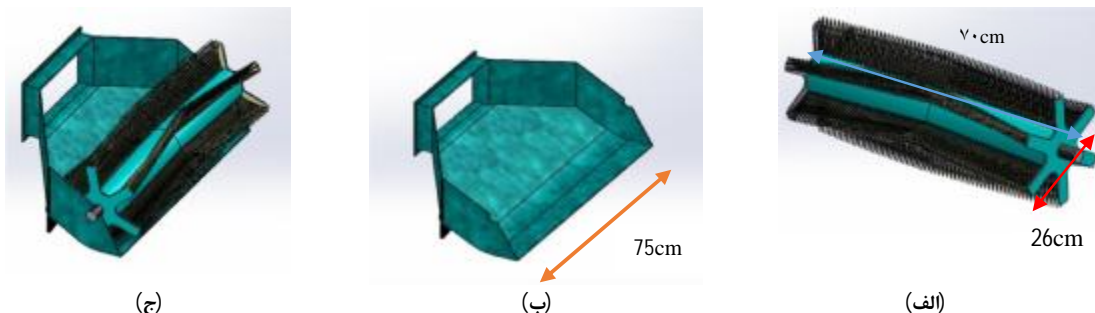


شکل ۱- نمای ماشین خودکار جمع‌آوری محصول کشمش (میلی‌متر)

طراحی شاسی دماغه

برای طراحی و مونتاژ قطعات دستگاه در نرم‌افزار طراحی Solidworks 2013 X64، از محیط‌های Part Design و Assembly

Design استفاده شد. در ابتدا با به کارگیری محیط Part design شاسی، قطعات و بخش‌های مختلف دماغه با اندازه‌های محاسبه شده آن طراحی گردید (شکل ۲).



شکل ۲- بخش‌های مختلف دماغه طراحی شده (الف) برس جمع‌آوری، (ب) شاسی دماغه، (ج) دماغه جمع‌آوری

برس جمع‌آوری محصول

به منظور جمع‌آوری محصول از سطح زمین، یک برس پلاستیکی (قطر ۲۶ cm و طول ۷۰ cm) ساخته شد. در این برس، استوانه مرکزی از جنس تفلون (قطر ۱۶ cm و طول ۷۰ cm) و آج‌های برس از جنس پلاستیک (ضخامت ۰/۶ mm و طول ۶/۵ cm) تعبیه که ۱/۵ cm آن در داخل استوانه تفلونی کاشته شد. انتخاب جنس آج‌های برس و میزان انعطاف آن به صورت تجربی و با توجه آسیب نرساندن جاروهای مشابه این نوع برس‌ها (در جمع‌آوری به صورت دستی)، انتخاب شد. برای سبک نمودن برس، استوانه به قطر ۱۲ cm سوراخ شد تا به شکل لوله در بیاید. سپس در دو سر استوانه درپوش‌های پولکی به ضخامت ۲ cm و با سوراخ مرکزی به قطر ۳ cm قرار داده شد (شکل ۳-الف). آرایش آج‌های برس بر روی استوانه به صورت آرایش ۷ شکل ساخته شد تا حین چرخش استوانه، محصول را از دو طرف ورودی دهانه دماغه به سمت مرکز دماغه در قسمت خروجی آن هدایت نماید.

دماغه جمع‌آوری

برای ساخت دماغه، از دو قطعه ورق آهنی به ضخامت ۵ mm به شکل مقطعی از دایره به قطر ۲۸ cm در دو طرف دماغه، و هم‌چنین ورق آهنی (ضخامت ۱ mm) برای کف دماغه بهره‌گیری شد (شکل ۳-ب). در مرکز دو طرف دماغه، سوراخ‌های مرکزی به قطر ۲۵ mm و هم‌چنین چهار سوراخ ۱۰ mm در چهار طرف آن به

منظور پیچ و مهره نمودن یاتاقان‌ها، سوراخ‌کاری گردید. محور مرکزی برس نیز میله‌ای به قطر ۳۰ mm و طول ۸۵ cm بود که با تراش‌کاری در دوسر آن (تا رسیدن به قطر ۲۰ mm)، از دو طرف داخل یاتاقان‌ها قرار گرفته و با پیچ موجود در سوراخ عرض یاتاقان‌ها، به یاتاقان قفل می‌گردد. برای انتخاب یاتاقان‌ها نیز، با استفاده از جداول اندازه‌ها و میزان بار اساسی یاتاقان‌ها (Budynas and Nisbett, 2015)، از بلبرینگ‌های شیار عمیق سری ۰۲ به عنوان پرمصرف‌ترین یاتاقان‌ها با مشخصات (قطر درونی ۲۰ mm، قطر بیرونی ۴۷ mm، پهنای ۱۴ mm، شعاع قوس ۱/۰ mm، قطر پله ۲۵ mm و میزان بار اساسی ۹/۴۳ kN) استفاده گردید. طول دهانه ورودی دماغه ۷۵ cm، ارتفاع آن ۲۸ cm و محدوده تنظیم ارتفاع کف دماغه از سطح زمین با توجه مشخصات کسمش بین ۲ الی ۱۰ mm انتخاب گردید.

تنظیم ارتفاع دماغه

به منظور تنظیم ارتفاع دماغه از سطح زمین، دو عدد چرخ هرز گرد به قطر ۴ cm و پهنای ۱۵ mm که از بالا به صورت اتصال پیچ و مهره است، به مهره‌ای که به جلوی شاسی دماغه جوش‌کاری شده است، بسته شد. با باز و بسته کردن اتصال پیچ و مهره چرخ، ارتفاع شاسی دماغه از سطح زمین تا ارتفاع ۳۰ mm بالاتر از سطح زمین قابل تنظیم است. چرخ‌های تنظیم ارتفاع در شکل ۴ قابل مشاهده است.



شکل ۳- دماغه و برس جمع‌آوری محصول: (الف) شاسی دماغه جمع‌آوری؛ (ب) برس و یاتاقان‌های سوار شده بر روی دماغه؛ و (ج) دماغه جمع‌آوری با دریچه خروجی



شکل ۴- چرخ‌های تنظیم ارتفاع دماغه از سطح زمین

اعمال گشتاور مناسب (معادل با جابجایی یه وزنه حدوداً ۲۵ کیلوگرمی که در تعریف مسأله فرض شده است) در سرعت محاسبه شده باشد. میزان سرعت خطی و گشتاور مورد نیاز موتور با استفاده از معادله (۲) (Anonymous, 1999) محاسبه شد.

$$T = F \times r \quad \text{and} \quad F = m \times a$$

$$\Rightarrow T = \frac{m \times a \times r}{num} \quad (2)$$

در این معادله، r : شعاع پولی برس (m)، F : نیروی مورد نیاز ماشین برای اعمال گشتاور (N)، m : جرم جابجایی موتور (kg)، a : شتاب خطی (m/s^2)، num : تعداد موتور و T : گشتاور مورد نیاز ماشین ($N.m$). با جای‌گذاری مقادیر مورد نظر ماشین طراحی شده در معادلات فوق، میزان سرعت دورانی $62/5 \text{ rpm}$ و گشتاور مورد نیاز $N.m$ $0/94$ به دست آمد.

انتخاب نوع موتور انتقال توان به دماغه جمع‌آوری

با فرض اینکه برس جمع‌آوری محصول با سرعت میانگین 25 rpm دوران داشته باشد و در هر دور 200 g کشمش جمع کند، در هر 15 دقیقه 75 kg محصول کشمش جمع‌آوری می‌گردد، که معادل است با یک‌بار پر شدن مخزن ساخته شده برای ماشین. باتوجه به قطر پولی برس جمع‌آوری ($D=15 \text{ cm}$) و قطر پولی سر موتور ($d=6 \text{ cm}$)، برای تأمین سرعت میانگین (25 rpm)، سرعت موتور انتخابی (n) با استفاده از معادله (۱) محاسبه گردید:

$$ratio = \frac{D}{d} = \frac{15}{6} = 2.5 \quad (1)$$

$$n = 25 \times ratio = 62.5 \text{ rpm}$$

محاسباتی به منظور انتخاب نوع موتور انتقال توان به دماغه جمع‌آوری انجام شد. موتور انتخابی بایستی قادر به

به منظور محاسبه کشش تسمه نیز مطابق نظریه فیربانک، با فرض اینکه نیروی اصطکاک وارد بر تسمه در تمام کمان تماس یکنواخت است، و همچنین با صرف‌نظر از نیروهای گریز از مرکز وارد بر تسمه، معادله بین کشش طرف محکم تسمه F_1 و کشش طرف شل تسمه F_2 به صورت معادله (۷) (Budynas & Nisbett, 2015) است:

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{f \cdot q} \quad (7)$$

در این معادله، f : ضریب اصطکاک با مقدار تقریبی 0.17 ، و q : زاویه تماس تسمه (درجه) است. توان منتقل شده تسمه نیز برابر است با (معادله ۸) (Budynas & Nisbett, 2015):

$$P = (F_1 - F_2)V \quad (8)$$

در این معادله، V : سرعت خطی (m/s) است. توان کششی تسمه با استفاده از معادله (۹) محاسبه شد. (Budynas & Nisbett, 2015):

$$P = \frac{2C_p \cdot C_v \cdot F_a V}{K_s} \quad (9)$$

که در آن، P : توان کششی تسمه (kW)، C_p : ضریب تصحیح قرقره (برای تسمه‌های با قطر قرقره کوچک 40 - 100 mm)، C_v : ضریب تصحیح سرعت (برای تسمه گرد از جنس اورتان)، F_a : کشش مجاز تسمه، V : سرعت خطی تسمه و K_s : ضریب کارکرد است. در این معادله ابتدا داده‌هایی از قبیل: 1 : C_p ، 0.5 : C_v ، 3300 N/m: F_a ، 0.83 : V ، 1 : K_s ، از جداول ویژگی‌های تسمه و قرقره استاندارد استخراج گردید و سپس با قرار دادن مقادیر عوامل فوق در معادله (۹) مقدار توان کششی محاسبه شده، $P = 1/35$ kW به دست آمد. در ادامه مقدار توان فوق را در معادله (۸) جایگزین و مقدار اختلاف نیرو به دست خواهد آمد، با به دست آوردن نسبت F_1 و F_2 و جایگزینی در معادله (۷)، ضریب اصطکاک به دست آمد. در نهایت با مقایسه ضریب اصطکاک به دست آمده، با ضریب اصطکاک موجود در جدول، با توجه به اینکه نسبت کشش خالص بایستی کمتر از $e^{f \cdot q}$ باشد (زیرا این نقطه لغزش احتمالی فصل مشترک تسمه و پولی است)، مشاهده شد که تسمه انتخابی مناسب است.

با توجه به پژوهش‌های پیشین (Anonymous, 1999) در انتخاب موتور، بایستی گشتاور نامی موتور، 4 برابر مقدار محاسبه شده در نظر گرفته شود. همچنین سرعت بی‌بار موتور بایستی 25 - 50 درصد بیش‌تر از سرعت محاسبه شده باشد. در نتیجه میزان سرعت بی‌بار موتور rpm $90/6$ و گشتاور نامی موتور نیز $3/75$ N.m به دست آمد. توان و جریان موتورها با توجه به اینکه در موتور جعبه دنده جریان DC، نقطه عملکرد موتور در حدود 50 در صد گشتاور نامی و 50 درصد سرعت بی‌بار صورت می‌پذیرد، با استفاده از معادلات (۳) و (۴) (Anonymous, 1999) به دست آمد:

$$Power = RPM/2 \times T/2 = 45.3 \times 1.875 = 84.94 \text{ W} \quad (3)$$

$$Current = \frac{Power}{Voltage} = \frac{84.94}{12} = 7.07 \text{ A} \quad (4)$$

تسمه انتقال توان

با توجه به موازی بودن محورهای موتور و برس جمع‌آوری، و فاصله موجود بین محورها، به منظور انتقال توان از موتور به برس از تسمه گرد استفاده شد. به منظور ایجاد حرکت خلاف جهت گردش موتور برای جمع‌آوری محصول، تسمه انتخابی بایستی به صورت ضربدری نصب گردد. از آنجایی که در ساختار ضربدری پولی-تسمه، دو طرف تسمه با پولی‌ها درگیر می‌شود، بنابراین انتخاب تسمه گرد نسبت به موارد دیگر، به علت تحمل نیروی کششی زیاد، ایجاد سطح تماس بیشتر تسمه با پولی‌ها، و همچنین کاهش اصطکاک بین پولی و تسمه در ساختار ضربدری مناسب‌تر بود.

محاسبه زاویه تماس تسمه با پولی، طول تسمه با استفاده از معادلات (۵) و (۶) انجام شد (Budynas & Nisbett, 2015):

$$q_D = q_d = p + 2 \sin^{-1} \left(\frac{D+d}{2C} \right) \quad (5)$$

$$L = \sqrt{4C^2 - (D+d)^2} + \frac{q}{2}(D+d) \quad (6)$$

در این معادلات، q_D : زاویه تماس تسمه با پولی برس (درجه)، q_d : زاویه تماس تسمه با پولی موتور (درجه)، D : قطر پولی برس (m)، d : قطر پولی موتور (m)، C : فاصله مرکز پولی‌ها (m). با جای‌گذاری مقادیر مورد نظر، زوایای تماس (۲۱۶ درجه) و طول تسمه (۹۵ cm) به دست آمد.



شکل ۶- ارزیابی میدانی دستگاه

بنابراین فقط کشمش‌های سالم وارد دهانه جمع‌آوری دستگاه می‌شد و در نهایت درصد کشمش‌های آسیب دیده در اثر جمع‌آوری اندازه‌گیری شد. به طوری که ابتدا وزن کشمش‌های موجود در مخزن در هر آزمایش اندازه‌گیری شد، سپس وزن کشمش‌های آسیب دیده در اثر نیروهای اعمالی فشاری و برشی ناشی از جمع‌آوری، اندازه‌گیری و در نهایت درصد وزنی کشمش‌های آسیب دیده نسبت به کشمش‌های سالم موجود در مخزن، محاسبه گردید. طبق استاندارد ملی کشمش، کشمش لهیده و آسیب دیده، به حالتی که در نتیجه فشار یا عوامل مکانیکی به وجود آمده باشد اطلاق می‌گردد، که در برخی موارد به بریدگی‌های سطح کشمش به اندازه بیش از یک سوم طول کشمش منجر شود (Anonymous, 2018). با توجه به عملکرد دماغه، میزان آسیب مکانیکی وارد بر محصول کشمش حین جمع‌آوری در سه سرعت پیشروی ماشین (۱، ۲ و ۳ km/h)، در سه ارتفاع دماغه از سطح زمین (۲، ۵ و ۱۰ mm) و در ۳ تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. از آنجایی که سرعت دوران برس جمع‌آوری ارتباط مستقیم با سرعت پیشروی ماشین دارد و وابسته به آن است، بنابراین تأثیری در تعداد تیمارها ندارد، لذا تعداد تیمارها ۹ و تعداد کل آزمایش‌ها ۲۷ عدد در نظر گرفته شد.

نتایج به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی توسط نرم‌افزار SPSS v. 21 تجزیه و تحلیل شد. در این ارزیابی درصد وزنی کشمش‌های لهیده و بریده شده حین جمع‌آوری ارزیابی گردید و در هر تکرار آزمایش درصد کشمش‌های آسیب دیده اندازه‌گیری و سپس کنار گذاشته شد.

با در نظر گرفتن قید اضافی، هنگامی که تسمه سوار می‌شود، کشش اولیه F_1 در تسمه پدید می‌آید. حال با فرض اینکه هر تکه تسمه که پولی را ترک می‌کند، فنری تحت کشش اولیه F_i باشد. با فراهم شدن توان مورد نیاز، پولی چرخیده، و طرف کشش زیاد تسمه کشیده، و طرف کشش کم تسمه جمع می‌گردد. بنابر این (معادله ۱۰) (Budynas & Nisbett, 2015):

$$F_1 = F_i + \Delta F \quad (\text{الف})$$

$$F_2 = F_i - \Delta F \quad (\text{ب}) \quad (10)$$

در معادله فوق با اضافه شدن اندکی بار، توان منتقل می‌گردد و F_1 به اندازه ΔF اضافه می‌شود و F_2 به همان مقدار کاهش خواهد یافت. اگر بار بیشتر اضافه شود، در نتیجه F_2 صفر می‌شود زیرا تسمه نمی‌تواند فشار را تحمل کند. در این نقطه $F_1 = 2F_i$ ، که کشش بیشینه تسمه خواهد بود. بنابراین، توان بیشینه برابر است با (معادله ۱۱) (Budynas & Nisbett, 2015):

$$P = 2F_i V \quad (11)$$

بخش انتقال توان دماغه در شکل ۵ قابل مشاهده است.



شکل ۵- بخش انتقال توان دماغه جمع‌آوری

ارزیابی عملکرد

ارزیابی ماشین بر روی کشمش‌های پهن شده بر سطح زمینی به طول ۱۵ m و عرض ۵ m واقع در شهرستان ملایر واقع در استان همدان در شرایط میدانی انجام گرفت (شکل ۶). در آزمایش ابتدا کشمش‌های آسیب دیده (به هر دلیل)، قبل از شروع کار دستگاه، جمع‌آوری شد.

نتایج و بحث

در مرحله ساخت شاسی دماغه، استفاده از دو قطعه ورق آهنی به ضخامت ۱ mm به شکل مقطعی از دایره به قطر ۲۸ cm در دوطرف دماغه سبب تغییر شکل شاسی در هنگام دوران برس می‌شد، در نتیجه از ورق‌های آهنی به ضخامت ۵ mm استفاده شد.

در انتخاب نوع موتور با توجه به محاسبات انجام شده برای تأمین توان و گشتاور مور نیاز برای دوران برس جمع آوری، و همچنین با توجه به اینکه نیرو محرکه تسمه نقاله نیز از این موتور تأمین می‌گردد، بنابراین موتور گیربکسی با توان بیشتر لازم بود. برای رسیدن به مشخصات فوق، موتوری با ولتاژ ۱۲ V که قادر به تأمین این گشتاور و دور موتور باشد در بازار موجود نبود، بنابراین از موتور جعبه دنده دار ۲۰ ولت (Matsushta Electric Ind.co.Ltd. DC20V, 200RPM, Model: GMX-8PV017C) با سرعت دورانی ۲۰۰ rpm استفاده شد. این موتور در ولتاژ ۱۲ V، سرعت دورانی ۱۰۰ rpm خواهد داشت و گشتاور تولیدی آنها نیز ۲۵ N.m است.

نتایج تعریف کشش بیشینه تسمه نشان داد که تنها راه انتقال توان بیشتر، افزودن کشش اولیه تسمه است. بنابراین طراحی تسمه، با محدود کردن کشش بیشینه‌ی

F_1 ، طبق تنش کششی مجازی که برای ماده تسمه توسط سازندگان تسمه مشخص شده است انجام می‌گیرد. در بخش چرخ‌های تنظیم ارتفاع، یکی از چرخ‌ها همواره بیرون از توده محصول در حرکت است و با کشمش‌ها برخوردی نداشت، اما متاسفانه چرخ دیگر باعث لهیدگی محصول می‌شد. برای رفع این مشکل از برس تخت ردیفی (با ابعاد: ارتفاع ۴ cm و طول ۱۰ cm) در جلوی این چرخ در نظر گرفته شد، تا قبل از رسیدن چرخ به محصول، کشمش‌ها را به سمت مرکز دماغه جمع‌آوری و جاروب نماید (لازم به ذکر است که از این برس در مراحل بهینه‌سازی استفاده خواهد شد). درصد وزنی کشمش‌های با آسیب مکانیکی (شکل ۷- الف) نسبت به کشمش‌های سالم موجود در مخزن (شکل ۷- ب)، در محیط آزمایشگاه و در هر تکرار اندازه‌گیری و ثبت شد. نتایج تجزیه واریانس آسیب مکانیکی وارد بر کشمش‌ها در جدول ۱ آمده است. مشاهده می‌شود که اثر ارتفاع دماغه و سرعت پیشروی ماشین بر آسیب مکانیکی در سطح یک درصد معنادار است. در صورتی که اثر متقابل این دو عامل معنی‌دار نیست. به عبارتی تعامل بین ارتفاع دماغه و سرعت پیشروی ماشین اثبات نمی‌گردد و این دو عامل تأثیری بر عملکرد هم ندارند.



(ب)

شکل ۷- الف) نمونه کشمش‌های آسیب دیده؛ (ب) نمونه کشمش‌های سالم

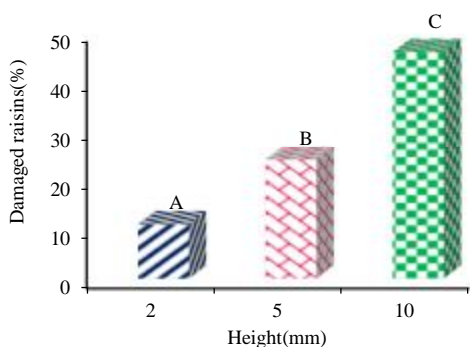


(الف)

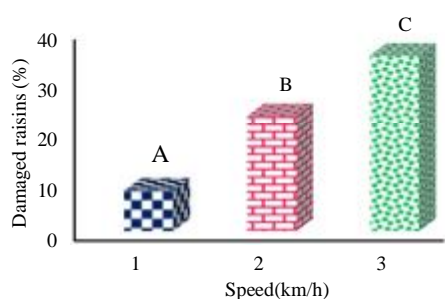
۵ برخورد لبه بیشتر به قسمت میانی کشمش‌هاست، که دوران برس جمع‌آوری سبب بریدگی برخی از کشمش‌ها شده است. در ارتفاع ۱۰ mm نیز مقدار زیادی از کشمش‌ها در زیر لبه دماغه قرار می‌گیرند که با پیشروی دستگاه به جلو و تجمع این کشمش‌ها در زیر دماغه، سبب لهیدگی آنها گردید. نتایج بررسی آسیب مکانیکی وارد بر کشمش‌ها حین جمع‌آوری در سه سرعت پیشروی نیز در شکل ۹ قابل مشاهده است.

نتایج حاصل از بررسی آسیب مکانیکی وارد بر کشمش‌ها حین جمع‌آوری در سه ارتفاع دماغه از سطح زمین در شکل ۸ قابل مشاهده است. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، آسیب مکانیکی وارد بر کشمش‌ها حین جمع‌آوری در ارتفاع ۲ mm دماغه از سطح زمین نتایج بهتری نسبت به دو ارتفاع دیگر (۵ و ۱۰ mm) دارد و این امر به دلیل آن است که لبه جلویی دماغه زیر کشمش‌ها قرار می‌گیرد و دوران برس به راحتی کشمش‌ها را به داخل دماغه هدایت می‌کند، در صورتی که در ارتفاع mm

هزینه ساخت این ماشین خودکار معادل ده میلیون تومان است. با توجه به ظرفیت کاری دستگاه، در مقایسه با کارمزد جمع‌آوری محصول کشمش به صورت دستی، برای کارگر با کارمزد روزانه ۱۰۰ هزار تومان، در ۱۰۰ روز اول کار با آن، هزینه ساخت قابل بازگشت است. همچنین با توجه به میزان آسیب مکانیکی کمتر از ۸ درصد در سرعت پیشروی ۱ km/h عملکرد این ماشین، ساخت آن را از نظر اقتصادی توجیه می‌کند.



شکل ۸- آسیب مکانیکی وارد بر کشمش‌ها حین جمع‌آوری در سه ارتفاع دماغه



شکل ۹- آسیب مکانیکی وارد بر کشمش‌ها حین جمع‌آوری در سه سرعت پیشروی

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، آسیب مکانیکی وارد بر کشمش‌ها حین جمع‌آوری در سرعت پیشروی ۱ km/h نسبت به دو سرعت دیگر کمتر است و این امر به دلیل فرصت جمع‌آوری بهتر برس جمع‌آوری نسبت به سرعت پیشروی است. به عبارتی، هر چه سرعت پیشروی کمتر باشد جمع‌آوری برس بهتر انجام می‌گیرد و میزان بریدگی و لهیدگی کشمش‌ها کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از ماشین‌های برداشت و جمع‌آوری خودکار در تحقیقات گذشته، نشان داد که میزان آسیب مکانیکی در ماشین برداشت و جمع‌آوری توت فرنگی ۱۲/۵ درصد بود (Yamamoto et al., 2014). در تحقیق دیگر (Xiong et al., 2019)، ماشین ساخته شده موفق به برداشت و جمع‌آوری ۵۹ درصد از محصول توت‌فرنگی شد. از این میزان، ۵۳/۶ بدون آسیب دیدگی گزارش شد. به عبارت دیگر میزان آسیب مکانیکی وارد بر محصول در تحقیق ایشان ۹/۰۶ درصد بود. در ماشین برداشت و جمع‌آوری قارچ دکمه‌ای (Huang et al., 2021) درصد موفقیت برداشت و جمع‌آوری قارچ بدون آسیب دیدگی ۹۱/۴ درصد گزارش شد. در ماشین برداشت و جمع‌آوری گیلانی (Feng et al., 2018) درصد موفقیت جمع‌آوری محصول ۸۳ درصد گزارش شد که در مجموع ۶ درصد آسیب‌دیدگی مشاهده شد. لازم به ذکر است جمع‌آوری همه محصولات فوق در محیط گلخانه بوده و در چنین محیطی سرعت برداشت‌ها تقریباً مشابه بود. مقایسه این نتایج نشان داد که عملکرد ماشین پیشنهادی در پژوهش حاضر با میزان آسیب مکانیکی وارد بر محصول ۸ درصد، در سطح قابل قبولی است.

جدول ۱- تجزیه واریانس آسیب مکانیکی وارد بر کشمش‌ها در شرایط مختلف

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	درصد معنی داری
ارتفاع	2	5482/640	2741/320	108/077	0/000
سرعت	2	577/662	288/831	11/387	0/000
ارتفاع × سرعت	4	160/124	40/031	1/578	0/223
خطا	18	456/560	25/364		
جمع کل	27	43951/440			

a. R Squared = 0.932 (Adjusted R Squared = 0.901)

در ماشین برداشت و جمع‌آوری توت فرنگی ۱۲/۵ درصد بود (Yamamoto et al., 2014). در تحقیق دیگر (Xiong

نتایج حاصل از ماشین‌های برداشت و جمع‌آوری خودکار در تحقیقات گذشته، نشان داد که میزان آسیب مکانیکی

تسمه سبب جذب بخش مهمی از بارهای شوکی، و هم-چنین میرا کردن نیروهای ارتعاشی گردید. اگرچه این حسن از لحاظ عمر موتور مهم است اما، کاهش قیمت عموماً عامل اصلی انتخاب تسمه انتقال قدرت بود. آرایش ۷ شکل آج‌های برس نیز، جمع‌آوری کشمش‌ها از دوطرف دهانه دماغه به سمت مرکز (خروجی دماغه) را بهبود بخشید. ارزیابی‌های انجام شده بر روی آسیب مکانیکی وارد بر کشمش‌ها حین جمع‌آوری و همچنین ظرفیت کاری دماغه انجام شد. نتایج تجزیه واریانس آسیب مکانیکی وارد بر کشمش‌ها نشان داد که اثر تغییر ارتفاع و سرعت پیشروی ماشین بر آسیب مکانیکی در سطح یک درصد معنادار است. در صورتی‌که اثر متقابل این دو عامل معنی‌دار نیست. با توجه به نتایج به دست آمده، برای بازده کاری بالا و آسیب مکانیکی اندک در سرعت ۱km/h، استفاده از دماغه جمع‌آوری کشمش بر روی ماشین، قابلیت خوبی در وسایل نقلیه کوچک دارد.

منابع

- Ahangarnejad, N., Alimardani, R. & Chegini, G. R. 2010. *Potato harvesting machine design - Part 3: Evaluation of weighing and packaging mechanism*. Paper presented at the Sixth National Congress of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Tehran. (In Persian).
- Anonymous. 1999. Understanding D. C. Motor Characteristics, from <http://lancet.mit.edu/motors/motors3.html#peed>.
- Anonymous. 2018. Specification and methods of test for raisin: Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (Vol. 17: pp. 31). (In Persian)
- Azadbakht, M., Kiapay, A. & Jafari, A. 2014. Design and fabrication of a tractor powered leaves collector machine equipped with suction-blower system. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16: 77-86.
- Bayat, F. & Mahjoub, M. (Eds.). 2009. *Harvesting, drying and storing walnuts*. Hamedan: Agricultural Extension Coordination Management Publications.
- Brijesh, K.J., Karthik, P., Adarsh, S. B., Githin, V. & Kevin, X. 2019. Design and Fabrication of Waste Collecting Machine. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6: 2092-2098.

(et al., 2019)، ماشین ساخته شده موفق به برداشت و جمع‌آوری ۵۹ درصد از محصول توت‌فرنگی شد. از این میزان، ۵۳/۶ بدون آسیب دیدگی گزارش شد. به عبارت دیگر میزان آسیب مکانیکی وارد بر محصول در تحقیق ایشان ۹/۰۶ درصد بود. در ماشین برداشت و جمع‌آوری قارچ دکمه ای (Huang et al., 2021) درصد موفقیت برداشت و جمع‌آوری قارچ بدون آسیب دیدگی ۹۱/۴ درصد گزارش شد. در ماشین برداشت و جمع‌آوری گوجه گیلاسی (Feng et al., 2018) درصد موفقیت جمع‌آوری محصول ۸۳ درصد گزارش شد که در مجموع ۶ درصد آسیب‌دیدگی مشاهده شد. لازم به ذکر است جمع‌آوری همه محصولات فوق در محیط گلخانه بوده و در چنین محیطی سرعت برداشت‌ها تقریباً مشابه بود. مقایسه این نتایج نشان داد که عملکرد ماشین پیشنهادی در پژوهش حاضر با میزان آسیب مکانیکی وارد بر محصول ۸ درصد، در سطح قابل قبولی است.

هزینه ساخت این ماشین خودکار معادل ده میلیون تومان است. با توجه به ظرفیت کاری دستگاه، در مقایسه با کارمزد جمع‌آوری محصول کشمش به صورت دستی، برای کارگر با کارمزد روزانه ۱۰۰ هزار تومان، در ۱۰۰ روز اول کار با آن، هزینه ساخت قابل بازگشت است. همچنین با توجه به میزان آسیب مکانیکی کمتر از ۸ درصد در سرعت پیشروی ۱ km/h عملکرد این ماشین، ساخت آن را از نظر اقتصادی توجیه می‌کند.

نتیجه گیری

در این پژوهش دماغه‌ای مخصوص متشکل از: شاسی، برس جمع‌آوری، چرخ‌های تنظیم ارتفاع و بخش انتقال حرکت، به منظور جمع‌آوری محصول کشمش از سطح زمین طراحی و ساخته و این دماغه بر روی ماشین خودکاری نصب گردید. انتخاب موتور جعبه دنده با توان بیشتر (۲۰۷ با سرعت دورانی ۲۰۰ rpm) در نتیجه انجام محاسبات و به منظور تأمین نیرو محرکه برس جمع‌آوری و همچنین تسمه نقاله انتقال کشمش به مخزن انجام شد. نتایج محاسبات انجام شده هم‌چنین، سبب انتخاب تسمه انتقال توان با سطح مقطع گرد به طول ۹۵ cm و پولی‌های به قطر ۱۵ و ۶ cm گردید. بررسی کشش بیشینه تسمه نشان داد که تنها راه انتقال توان بیشتر، افزودن کشش اولیه تسمه است. استفاده از

- Xiong, Y., Peng, C., Grimstad, L., From, P. J. & Isler, V. 2019. Development and field evaluation of a strawberry harvesting robot with a cable-driven gripper. *Computers and electronics in agriculture*, 157: 392-402.
- Yamamoto, S., Hayashi, S., Yoshida, H. & Kobayashi, K. 2014. Development of a stationary robotic strawberry harvester with a picking mechanism that approaches the target fruit from below. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 48: 261-269.
- Budynas, R. G. & Nisbett, J. K. 2015. *Shigley's mechanical engineering design* (9th edition): Mc Graw Hill.
- Chakra Kumar, V. S., Sinha, A., Mallya, P. P. & Nath, N. 2017. *An approach towards automated navigation of vehicles using overhead cameras*. Paper presented at the Conf. Comput. Intell. Comput. Res. (ICCIC).
- Feng, Q., Zou, W., Fan, P., Zhang, C. & Wang, X. 2018. Design and test of robotic harvesting system for cherry tomato. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11: 96-100.
- Ghaffari, A., Abdollahpour, S. & Ahmadi Moghadam, P. 2016. *Static design and analysis of chassis and container of leaf collector for garden tractors for optimization*. Paper presented at the The 2nd National Conference on Agricultural Mechanization and New Technologies, Khuzestan. (In Persian).
- Huang, M., Jiang, X., He, L., Choi, D., Pecchia, J. and Li, Y. 2021. Development of a Robotic Harvesting Mechanism for Button Mushrooms. *Transactions of the ASABE*, 64: 565-575.
- Khatabi, A. 2013. Raisins. Tehran: Jihad Keshavarzi Publications. (In Persian).
- Nejatian, M. A. 2018. New sanitary production raisins. Tehran: Publications of the Scientific-Applied and Skilled Higher Education Institute of Jihad Keshavarzi. (In Persian).
- Radcliffe, J., Cox, J. & Bulanon, D. M. 2018. Machine vision for orchard navigation. *Computers in Industry*, 98: 165-171.
- Ramezani, H., ZakiDizaji, H., Masoudi, H. & Akbarizadeh, G. 2016. A new DSPTS algorithm for real-time pedestrian detection in autonomous agricultural tractors as a computer vision system. *Measurement*, 93, 126-134.
- Rasooli Harouni, S. 2013. *Design and manufacture of automatic fodder collection machine*. Paper presented at the 8th National Congress of Agricultural Machinery Engineering (Biosystems) and Mechanization of Iran, Mashhad. (In Persian).
- Rostami, H., Shamsabadi, H. & Nowruzeh, S. 2017. Evaluation of semi-mechanized cotton harvesting machine. *Iranian Cotton Research Journal*, 4: 103-118.
- Sultanzadeh, B. 2010. Raisins, production and consumption in Iran and market regulation strategies. Tehran: Nasaq Publications. (In Persian).

