# بهینه سازی واحد شستشو و آبگیری کارخانجات فرآوری کشمش

**مصطفی خجسته نژند[1]، ابوالفضل شافعی آسایش[2]**

[1] استادیار، دانشگاه بناب؛ khojasteh@bonabu.ac.ir
[2] کارشناسی مکانیک، دانشگاه بناب؛ ab.asayesh@gmail.com

**چکیده**

کشمش یکی از محصولات مهم کشاورزی است که از فرآوری انگور بدست می‌آید. در سال‌های اخیر، ایران جزو پنج کشور مهم تولید کننده و صادر کننده کشمش در کل دنیا بوده است، بطوریکه با صادرات سالانه ۱۴۰۰۰۰ تن، بعد از کشور ترکیه مقام دوم صادرات این محصول را به خود اختصاص داده است. کشمش بعد از تولید توسط کشاورز، به کارخانه فرآوری انتقال داده می‌شود. پس از انجام اعمال شستشو، شن‌گیری، خشک کردن مجدد، دم گیری و درجه بندی، بسته بندی شده و به دست مشتری می‌رسد. تجیزات و امکانات موجود برای شستشو و آبگیری از تکنولوژی قدیمی برخوردار بوده و باعث اتلاف آب و انرژی مصرفی شده و نیازمند نیروی انسانی زیادی در این قسمت است. در این تحقیق سعی شده است با بررسی و مطالعه نقاط ضعف خط موجود، اقدام به بازطراحی و ارائه طرح جدید برای شستشو و آبگیری کشمش شود. در این راستا استفاده از حوضچه نوار نقاله‌ای مجهز به دمنده‌های هوا برای شستشوی بهتر با مصرف کمتر آب و همین طور دمنده هوای تحت فشار به جای دستگاه سانتریفوژ برای آبگیری کشمش پیشنهاد گردیده است. نتایج نشان دهنده کاهش ۳۵ دصدی مصرف آب، ۱۵ درصدی مصرف انرژی الکتریکی و ۶۷ درصدی نیروی انسانی مورد نیاز می‌باشد. به دلیل کمبود منابع زیرزمینی آب و لزوم بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی، توجه جدی به خطوط فرآوری کشمش امری اجتناب‌ناپذیر است.

**کلمات کلیدی:** کشمش، شستشو، آبگیری، بهینه سازی، صرفه جوئی

# Optimization of Washing and Dewatering Line of Raisin Processing Factories

**Mostafa Khojastehnazhand [1], Abolfazl Shafeiee Asayesh [2]**

[1] Mechanical Engineering Department, University of Bonab, Bonab, Iran; khojasteh@bonabu.ac.ir
[2] Mechanical Engineering Department, University of Bonab, Bonab, Iran; ab.asayesh@gmail.com

***ABSTRACT***

Raisin is one of the most important agricultural products that is obtained from grape processing. In the recent years, Iran has been among the five major countries producing and exporting raisins around the world, with an annual output of 140,000 tons, followed by Turkey as the second-largest exporter of raisin. The raisins are transported to the processing plant after being produced by the farmer, packed, and delivered to the customer after washing, sand cleaning, drying and grading. The equipment and facilities available for washing and dewatering are of an old technology and cause waste of water and energy, and require a lot of manpower in this area. This research has been tried to investigate and study the existing washing line, to redesign and present a new scheme for washing and dewatering of raisins. In this direction, a conveyor belt equipped with air blowers is recommended for better washing with less water consumption, as well as the use of a pressurized air blower instead of a centrifuge device for dewatering of raisins. The results indicate a 35 percent decrease in water consumption, 15 percent electricity consumption and 67 percent of required manpower. Due to lack of groundwater resources and the need to optimize water and energy consumption, paying close attention to raisin processing lines is inevitable.

**Keywords:** Raisin, Washing, Dewatering, Optimization, Saving

۱- مصطفی خجسته نژند، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بناب، بناب، کد پستی: ۵۵۵۱۷۶۱۱۶۷، Khojasteh@bonabu.ac.ir

## ۱- مقدمه

درخت انگور گیاهی است از خانواده *Vitaceae* که اسم عملی گونه آنها *Vinifera Vitis* می‌باشد. میوه انگور غیر از مصرف به صورت تازه (انگور و غوره) به صورت‌های دیگر از قبیل آبغوره، شربت انگور، شیره، کشمش، الکل، سرکه و ... نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. کشمش از خشک کردن میوه انگور بدست می‌آید که از جمله مواد غذایی مقوی سرشار از مواد قندی و انرژی‌زا می‌باشد. براساس گزارش مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی، طی سال‌های ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۵ میزان تولید انگور از مقدار ۲/۳۹ میلیون تن به مقدار ۳/۴۵ میلیون تن افزایش پیدا کرده و رشد ۴۴ درصدی را نشان می‌دهد. این رشد باعث شده است که در بین محصولات باغی رتبه انگور از رتبه سه در سال ۱۳۹۱ به رتبه اول در سال ۱۳۹۵ ارتقا یابد. این مقدار افزایش تولید در طی ۵ سال نشانگر اهمیت توجه جدی به صنایع تبدیلی و راهکارهای صادراتی این محصول می‌باشد. از طرف دیگر ایران جزو ۵ کشور اصلی تولید کننده کشمش در جهان است. با اینکه کشور ترکیه ششمین تولید کننده برتر انگور در جهان است، اما در تولید کشمش حرف اول را می‌زند (جدول ۱). از نظر تولید، کشور چین در سال‌های اخیر توانسته است مقام سومی ایران را در میزان تولید کشمش به خود اختصاص دهد و ایران بعد از این کشور در مقام چهارمی قرار گیرد. چیزی که در این میان حائز اهمیت و توجه است، رشد تولید کشور ازبکستان در طی سال‌های اخیر است. بطوری که در طی ۴ سال اخیر میزان تولید کشمش خود را ۴ برابر نموده است. در صورت غفلت از افزایش کیفیت کشمش تولیدی و صادراتی، می‌توان انتظار داشت که ایران جایگاه چهارمی خود را نیز در سال‌های آتی تقدیم کشور ازبکستان نماید (Agricultural Statistics 2017).

**جدول ۱- میزان تولید کشمش در ۵ کشور اول تولید کننده در جهان طی سال‌های ۲۰۱۲ الی ۲۰۱۷ (برحسب هزار تن)**

**Table 1. The raisin production in the first 5 countries of the world during 2012-2017 (per thousand tons)**

| Country | 2012-13 | 2013-14 | 2014-15 | 2015-16 | 2016-17 | 2017-18 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Turkey | 310 | 242 | 320 | 220 | 310 | 295 |
| USA | 313 | 368 | 332 | 352 | 297 | 275 |
| China | 150 | 165 | 180 | 190 | 185 | 190 |
| Iran | 180 | 160 | 130 | 139 | 170 | 160 |
| Uzbekistan | 22 | 18 | 52 | 70 | 73 | 75 |
| **All Countries** | **1179** | **1150** | **1251** | **1192** | **1243** | **1220** |

با اینکه ایران در تولید کشمش مقام چهارمی را به خود اختصاص داده است، ولی به دلیل مصرف پایین آن در داخل کشور، مقام دومی را در صادرات این محصول بعد از کشور ترکیه به خود اختصاص داده است (جدول ۲). البته در این میان نیز، کشور ایالات متحده با میزان صادراتی نزدیک میزان صادرات ایران، می‌تواند در سال‌های آتی جایگاه دومی ایران را به خود اختصاص دهد. مهم‌ترین نکته قابل توجه در رابطه با میزان صادرات این محصول نیز مربوط به کشور ازبکستان است که همانند میزان تولید آن کشور در طی سال‌های قبل افزایش حداقل ۴ برابری را از خود نشان می‌دهد ( Agricultural Statistics 2017.).

**جدول ۲- میزان صادرات کشمش در جهان طی سال‌های ۲۰۱۲ الی ۲۰۱۷ (برحسب هزار تن)**

**Table 2. The amount of raisin exports in the world during 2012-2017 (per thousand tons)**

| Country | 2012-13 | 2013-14 | 2014-15 | 2015-16 | 2016-17 | 2017-18 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Turkey | 247 | 187 | 260 | 202 | 265 | 240 |
| Iran | 149 | 130 | 102 | 112 | 134 | 140 |
| USA | 124 | 159 | 127 | 114 | 127 | 120 |
| Uzbekistan | 20 | 16 | 49 | 67 | 70 | 72 |
| Chili | 67 | 66 | 62 | 55 | 57 | 59 |
| **All Countries** | **734** | **688** | **753** | **712** | **779** | **778** |

محصول کشمش، معمولا پس از تولید توسط کشاورز، ماه‌ها در انبارهای غیر استاندارد انبار شده و سپس به کارخانه منتقل می‌شود. این عمل باعث می‌شود، که به دلیل برخی مسائل از جمله دمای نامناسب انبار، درصد رطوبت بالای محصول انبار شده و شیره‌ای بودن آن، کشمش در داخل گونی، کامل به هم چسبیده و حالت کلوخه‌ای به خود بگیرد. که حالت کلوخه‌ای شدن عمل شستشو و بوجاری را با مشکل مواجه می‌نماید. بدین منظور در ابتدای خط شستشو، از تجهیزات مختلفی از جمله کلوخه شکن دوار و الک لرزان استفاده می‌شود. براساس مشاهدات عینی، مشخص است که تمامی محصول فله‌ای ریخته شده در داخل کلوخه شکن دوار، حالت کلوخه‌ای ندارد و مقداری از محصول کاملا به صورت دانه دانه است و نیازی به استفاده از کلوخه شکن دوار برای آنها نیست و عمل ضربه زدن اضافی باعث کاهش کیفیت محصول نهایی خواهد شد. از طرف دیگر، موتوری که برای دوران این کلوخه

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

شکن استفاده شده است، دارای توان مصرفی ۵/۵ کیلو وات است. در حالی که مصرف بالای توان به دلیل تزریق تمامی محصول به آن است و در صورت کاهش میزان محصول ورودی، می‌توان از موتور با توان کمتر استفاده نمود و هزینه‌های جاری را کاهش داد. محصول کشمش بعد از عبور از سیستم بوجاری، به داخل حوضچه شستشو ریخته می‌شود. در قسمت ورودی این حوضچه، آب به همراه محصول داخل حوضچه ریخته شده و با ایجاد جریان متلاطم در داخل حوضچه، عمل شستشو انجام می‌شود (شکل ۱).

**Figure 1. Raisin washing pool**

**شکل ۱- حوضچه شستشوی کشمش**

همانطور که در شکل ۱ نیز کاملا مشخص است، میزان ورودی آب زیاد بوده و باعث اتلاف بسیار زیاد آب می‌شود که در انتهای مسیر شستشو، هر واحد تولیدی با چالش بزرگ تصفیه پساب خود مواجه است. از جمله دلایل استفاده از حجم زیاد آب برای شستشو، می‌توان به مواردی همچون الک نشدن کامل محصول برای جداسازی خار و خاشاک، استفاده از آب سرد و مصرف زیاد آب سرد برای شستشوی کامل محصول، استفاده از جریان آب برای ایجاد غلیان و بالا پایین شدن محصول داخل حوضچه برای شسته شدن بهتر کشمش و استفاده از جریان آب جهت به جلو راندن محصول در کف حوضچه اشاره نمود. در انتها، محصول به همراه آب، توسط پمپ مکنده‌ای با توان ۷/۵ اسب بخار به ارتفاع بالاتری انتقال داده شده و به کانال شن‌گیر ریخته می‌شود. از جمله ایرادات این بخش نیز می‌توان به آسیب رسیدن به محصول توسط پمپ مکنده و مصرف انرژی الکتریکی بالا برای به کار انداختن پمپ مربوطه اشاره نمود. بعد از حوضچه شستشو، محصول وارد شنگیر شده و عمل شنگیر در یک کانال شیبدار انجام می‌پذیرد. از ایرادات مهم سیستم موجود شن‌گیری یکی مصرف بالای آب و دیگری تخلیه دستی شن‌های جمع‌آوری شده می‌باشد. بعد از اینکه عمل شستشو و شن‌گیری محصول انجام گرفت، جهت آبگیری محصول از دستگاه سانتریفیوژ استفاده می‌شود. این دستگاه طوری طراحی شده است که توسط اپراتور، متوقف شده، و سطل استوانه‌ای شکل آن که سوراخ‌دار است، از کشمش‌های شسته شده پر شده و با دستور اپراتور شروع به دوران با سرعت ۷۰۰ دور بر دقیقه می‌نماید. بعد از گذشت مدت زمانی، با توقف دستگاه، سطل مربوطه توسط نیروی کارگری خالی شده و برای عمل خشک کردن، روی طبق‌های چوبی ریخته می‌شود. موتور الکتریکی این دستگاه توان ۱۰ اسب بخار را مصرف می‌نماید. سیستم موجود آبگیری ایرادات مختلفی دارد که مهم‌ترین آنها، آفلاین بودن آن، وارد شدن آسیب زیاد به دلیل دور بالای دستگاه و مصرف توان الکتریکی بالا می‌باشد.

براساس توضیحات ارائه شده، تقریبا می‌توان ادعا نمود که خطوط موجود شستشو دارای مکانیزمی بسیار قدیمی هستند که این مسئله باعث دو مشکل اساسی در کارخانجات کشمش است. یکی از موارد، بحث نیروی انسانی مورد نیاز در کارخانه است. از آنجائیکه در سال‌های قبل، استفاده از نیروی انسانی یک اصل بدیهی در مدیریت کارخانه محسوب می‌شد، لذا هیچ توجهی به کاهش نیروی انسانی مورد نیاز نبوده و باعث شده تا برای کاهش هزینه ساخت دستگاه‌های مورد نیاز از نیروی انسانی استفاده گردد. ولی امروزه، کنترل و مدیریت نیروی انسانی مورد نیاز در خط تولید به یک مشکل اساسی برای صاحبان صنایع تبدیل شده، بطوریکه در برخی موارد حتی باعث تعطیلی خط یا کل کارخانه نیز شده است. مشکل دومی که به دلیل قدیمی بودن خط، بر مجموعه تحمیل شده است، استفاده بی‌رویه و بدون حساب و کتاب از انرژی و آب است. در محصولاتی همچون ذرت، بادام زمینی و سبزیجات، از جریان هوا برای ایجاد غلیان در آب استفاده گردیده است. که این روش باعث کاهش بسیار زیاد مصرف آب در مرحله شستشو گردیده است. در سال‌های اخیر با اجرای هدفمند سازی انرژی مصرفی و همین طور کاهش منابع آبی در کشور، توجه ویژه‌ای به این موارد شده است. در این پژوهش سعی شده است، با در نظر گرفتن ایرادات مهم و اساسی خطوط موجود شستشو و آبگیری، اقدام به باز طراحی آنها شده و میزان صرفه جویی در سه حوزه آب، انرژی و نیروی انسانی بررسی گردیده است.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

## ۲- مواد و روش‌ها

با بررسی و مطالعه ایرادات سیستم موجود خط شستشو و آبگیری، اقدام به طراحی خط جدید شد. تمام طراحی‌ها در محیط نرم افزار طراحی SolidWorks 2016 انجام پذیرفت. فضایی که بدین منظور در نظر گرفته شد، فضای مستطیلی به ابعاد ۸×۵ متر مربع بود ولی به دلیل قابلیت جابجایی قسمت‌های مختلف خط شستشو، می‌توان از چیدمان‌های متفاوت L شکل، خطی یا حتی U شکل استفاده نمود. شکل۲ چیدمان کلی خط شستشو و آبگیری طرح حاضر را نشان می‌دهد که در ادامه تک تک موارد بصورت کامل توضیح داده می‌شود.

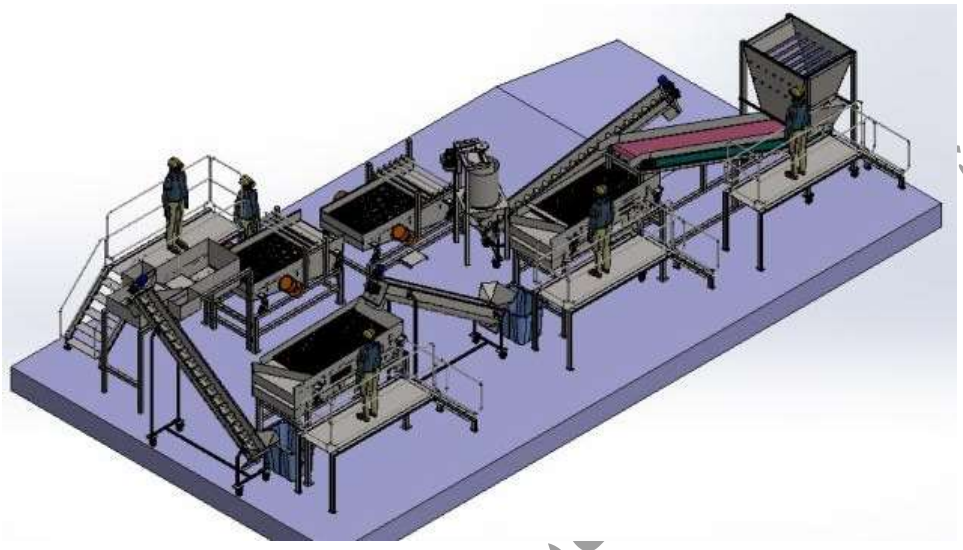

**Figure 2. The washing and dewatering line of raisin**

**شکل ۲- خط کامل شستشو و آبگیری کشمش**

این خط شامل کلوخه شکن اولیه، نوار نقاله، هلیس، الک شماره ۱، الک شماره ۲، کلوخه شکن ثانویه، حوضچه شستشو، شن گیر و الک آبپاشی و آبگیری می‌باشد. در ادامه فقط به توضیح حوضچه شستشو و لک آبپاشی و آبگیری اشاره خواهد شد. در طراحی واحد شستشوی جدید مزایایی همچون مصرف کنترل شده آب، استفاده از آب ولرم به جای آب سرد بدین دلیل که آب ولرم باعث جداسازی بیشتر و راحت‌تر مواد زائد شده و فرآیند شستشوی بهتری صورت می‌گیرد، استفاده از غلیان آب توسط دمندهای هوا که باعث زیر و رو شدن کامل محصول و بهبود فرآیند شستشو می‌گردد، کاهش مصرف ۳۰ – ۵۰ ٪ آب و افزایش سرعت تولید مد نظر قرار گرفته است. شکل ۳ شمای کلی حوضچه جدید را نشان می‌دهد که برای رفع خطاها و ایرادات قبلی از نوار نقاله برای خارج نمودن محصول از داخل حوضچه استفاده گردید.

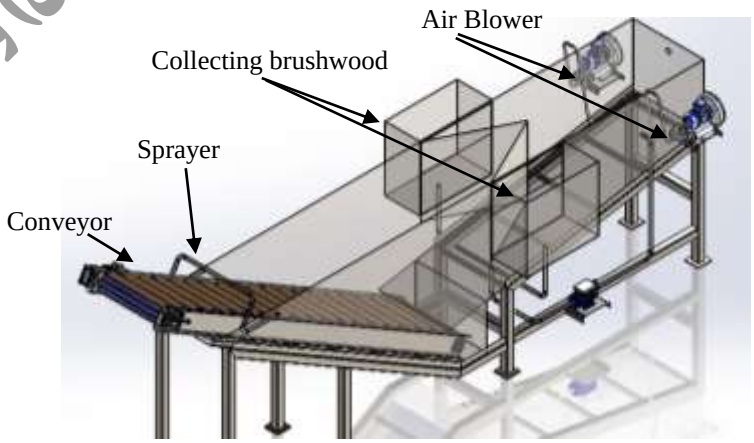


**Figure 3. The final designed washing pool**

**شکل ۳- حوضچه نهایی طراحی شده**

بدین منظور محصولی که از کلوخه‌شکن‌های اولیه و ثانویه عبور داده شده و به اندازه کافی الک شده است، داخل حوضچه ریخته شده و با خروجی دمنده هوایی که در ابتدای آن قرار گرفته است در داخل آب غلیان نموده و در طی مسیر بصورت کامل شسته می‌شود. در حین شسته شدن، مواد زائد و خار و خاشاک از آن جدا شده و به سطح آب منتقل می‌شوند. مواد زائد به طرفین دیواره‌های حوضچه حرکت می‌کنند که در این طرح، با قرار دادن جدا کننده V، مواد زائد به دو توری قرار گرفته در طرفین هدایت می‌شود. در زیر توری‌ها، پمپ آبی قرار گرفته است تا با ایجاد جریان آب، مواد زائد را به به بیرون از حوضچه هدایت کرده و مجددا آب را به داخل حوضچه برگشت می‌دهد. آب برگشت داده شده نیز در زیر حوضچه بصورت افشانک تحت فشار به داخل حوضچه تزریق می‌شود تا باعث هدایت کشمش در کف حوضچه شود. در ادامه محصول که از محل غلیان و جداکننده خار و خاشاک عبور پیدا کرده، از زیر جدا کننده رد شده و در ادامه به دلیل جریان آب به سمت جلو حرکت می‌کند. در ادامه حرکت بر روی نوار نقاله ریخته و از داخل حوضچه خارج می‌شود. در حین خروج از حوضچه توسط اسپری‌های آبپاشی، عملیات شستشوی نهایی محصول انجام می‌پذیرد. بعد از عمل شستشو و شنگیری محصول، با ریخته شدن پیوسته محصول بر روی دستگاه آبپاشی، در ابتدای الک، آبکشی نهایی محصول انجام می‌گیرد. این دستگاه شبیه الک لرزان بوده و سیستم‌های آبپاشی و آبکشی بر روی آن نصب گردیده است (شکل ۴). این دستگاه بصورت یک الک ویبراتور بوده که سوراخ‌های صفحه مشبک آن قطر ۳ میلی‌متری داشته و زیر این صفحه مشبک محفظه مجزا برای جمع آوری آب خروجی از قسمت‌های حوضچه شستشو و اسپری پرفشار قرار داده شده است. پس از انجام مرحله اسپری، محصول بر روی این دستگاه منتقل شده و با توجه به حرکت ارتعاشی و دمش هوای پرفشار، قطرات آب واقع در سطح کشمش‌ها، تا حد زیادی جدا و یا تبخیر می‌شوند. پس از این مرحله محصول وارد طبق‌های مخصوص جهت انتقال به گرمخانه می‌شود. مزایای ماشین آبگیری طراحی شده، سرعت بالای تولید، پیوسته بودن خط تولید، کارایی بالا در خشک کردن رطوبت روی محصول، رعایت کامل اصول بهداشتی و عدم پاشش آب یا محصول به محیط اطراف می‌باشد.

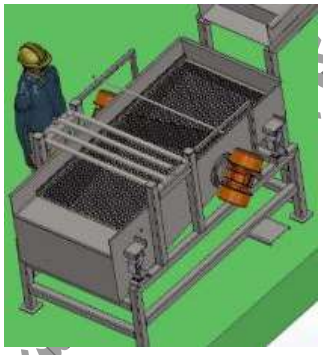

**Figure 4. The final washing and dewatering sieve of raisin**

**شکل ۴- الک آبپاشی نهایی و آبگیری کشمش**

براساس توضیحات داده شده در قسمت قبلی، و نقشه‌های طراحی شده برای خط شستشو و آبگیری، نحوه انتخاب موتورهای الکتریکی، ویبره و الکتروپمپ‌ها در ادامه توضیح داده می‌شود.

### ۱-۲- انتخاب دمپر

محاسبات مربوط به دمپرها بر اساس وزن بدنه الک و محصول انجام می‌پذیرد که با مراجعه به کاتالوگ شرکت‌های سازنده، قابل انتخاب است. ضخامت بدنه الک از ورق ۵ میلی‌متری استیل ۳۰۴ بوده که جرم کل آن ۴۷۶ کیلوگرم است. وزن سرندها ۱۷ کیلوگرم و وزن تقریبی محصول بر روی سرند نیز ۱۰۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است. براساس روابط (۱) و (۲) مجموع جرم و وزن موجود بر روی الک قابل محاسبه است. رابطه (۳) نیز نیروی وارد بر هر دمپر را مشخص می‌کند که براساس کاتالوگ سازندگان مختلف دمپر، قابل انتخاب است.

$$m_t = m_0 + 2m_1 + \frac{1}{2}m_2 = 560\ kg \quad (۱)$$

$$W = mg = 560 \times 9.81 = 5494 \quad (۲)$$

$$F = \frac{w}{4} = 1374\ N \quad (۳)$$

که در این رابطه، $m_0$ جرم بدنه الک، $m_1$ جرم سرندها، $m_2$ جرم تقریبی محصول و $m_t$ جرم کل مجموعه می‌باشد. درصد کوپلینگ بارگذاری محصول روی سرندها: ۵۰٪ در نظر گرفته شده است.

### ۲-۲- انتخاب الکتروموتورهای ویبراتور

این محاسبات نیز بر اساس وزن بدنه و اطلاعات موجود قابل انجام است. جرم بدنه الک ۴۷۶ کیلوگرم و میزان ارتفاع عمودی برای محصول حین لرزش (e) بر روی سرند ۱/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. براساس روابط (۴) و (۵)، نیروی مورد نیاز بر حسب کیلوگرم نیرو برای تاثیر در ماشین با جرم مشخص بصورت زیر قابل محاسبه است. نیرویی که توسط هر الکتروموتور باید تامین گردد، براساس رابطه (۶)، ۳۸۷ کیلوگرم محاسبه می‌گردد.

$$m_v = m_0 + m_{\text{motor}} = 476 + 2(20) = 516\ kg \quad (۴)$$

$$F_t = m_v e = 516 \times 1.5 = 744\ \text{kg} \quad (۵)$$

$$F_1 = F_2 = \frac{F_t}{2} = 387\ \text{kg} \quad (۶)$$

که با در دست داشتن مقدار نیروی مورد نیاز برای هر موتور، انتخاب الکتروموتور انجام می‌پذیرد.

### ۲-۳- محاسبات مربوط به نوار نقاله

در این خط از دو عدد نوار نقاله با طول‌های ۴ و ۵ متر بترتیب با ضخامت‌های ۸ و ۱۶ میلی‌متر استفاده گردیده است. وزن مجموعه حرکتی شامل وزن نوار به انضمام متعلقاتی مانند درام، شفت و چرخ‌دنده می‌باشد. محاسبه نیروی وزنی که برای محاسبه توان موتور نیاز است، توسط رابطه (۷) محاسبه می‌شود. جرم نوار نقاله ۸۰، جرم متعلقات ۴۰ و جرم محصول روی نوار نقاله ۱۳۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد.

$$F = (W \times \mu_r) + W = (250 \times 9.81 \times 0.033) + (250 \times 9.81) = 2530\ N \quad (۷)$$

$\mu_r$ مقدار ضریب اصطکاکی روی درام و چرخ دنده می‌باشد که مقدار استاندارد موجود ۰/۰۳۳ است.

با رابطه (۸) گشتاور (T) لازم جهت حرکت نوار نقاله و محصول قابل محاسبه است.

$$T = \frac{1}{2} D\ (F + \mu W) = \frac{1}{2} \times 0.145 \times (2530 + 0.4 \times (80 + 40 + 130) \times 9.81) = 255\ N.m \quad (۸)$$

که D قطر درام یا چرخ دنده، F نیروی خارجی جهت غلبه بر وزن، W وزن مجموعه و μ ضریب اصطکاک کشمش روی سطوح لاستیکی می‌باشد.

توان مورد نیاز برای به حرکت درآوردن نوار نقاله با در نظر گرفتن دور ۴۵ (N) و بازده ۷۳ درصد توسط روابط (۹) و (۱۰) به شرح ذیل محاسبه می‌شود:

$$P_d = \frac{2\pi TN}{60} = \frac{2\pi \times 255 \times 45}{60} = 1200\ w \quad (۹)$$

$$P_m = \frac{1200}{0.73} = 1644\ w \quad (۱۰)$$

با توجه به نمونه‌های موجود در بازار و ضریب تصحیح فاصله، موتور با توانی معادل ۲/۲ kw قابل انتخاب می‌باشد.

### ۲-۴- محاسبات مربوط به هلیس اسکرو

این قسمت محاسبات براساس سیستم آحاد انگلیسی انجام گرفته است. توان مورد نیاز جهت چرخاندن شفت با قطر ۴ اینچ، باله‌های ۱۲ اینچ و طول ۱۵۷/۵ اینچ توسط روابط (۱۱-۱۳) محاسبه شد (e و $F_0$ ضرایب ثابت محاسبات می‌باشند):

$$HP_a = \frac{L_1 N k_b}{10^6} = \frac{13.12 \times 63 \times 55}{10^6} = 0.045\ hp \quad (۱۱)$$

$$HP_b = \frac{C w L_f k_m}{10^6} = \frac{928 \times 38.26 \times 15.12 \times 1.5}{10^6} = 0.805\ hp \quad (۱۲)$$

$$HP = \frac{(HP_a + HP_b)F_0}{e} = \frac{(0.045 + 0.805) \times 1.73}{0.88} = 1.671\ hp \quad (۱۳)$$

در روابط بالا $F_0$ برابر ۱/۷۳ و e معادل ۰/۸۸ بعنوان ضرایب ثابت در نظر گرفته شدند. $HP_a$، توان مورد نیاز جهت غلبه بر اصطکاک های موجود در دستگاه بدون محصول، $HP_b$، توان مورد نیاز جهت غلبه بر اصطکاک‌های موجود مربوط به وزن محصول، $L_1$ طول کانال انتقال مواد، $k_b$ ضریب مربوط به متریال، N سرعت دورانی شفت و $k_m$ بعنوان ضریب کشمش معادل ۱/۸ می‌باشند. $L_f$ در واقع طول معادل فیدر دستگاه می‌باشد که براساس رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود. در این رابطه B و D ابعاد دریچه ورودی محصول به دستگاه هستند.

$$L_f = L_1 + \frac{B}{12} + \frac{D}{12} = 13.12 + 1 + 1 = 15.12\ ft \quad (۱۴)$$

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران

میزان انتقال محصول برای دستگاه طراحی شده، به ازای هر یک ساعت ۴/۵ تن در نظر گرفته شده است. لذا میزان حجم نهایی محصول بر حسب مترمکعب بر ساعت بمقدار ۹۲۸ با لحاظ نمودن وزن حجمی ۳۸/۲۶ پوند بر متر مکعب بدست آمد. براساس مقادیر محاسبه شده و نمونه‌های موجود در بازار، موتور با توان ۲ اسب بخار مورد نیاز دستگاه می‌باشد.

### ۲-۵- کلوخه شکن ثانویه

در مورد دستگاه کلوخه شکن ثانویه، طبق دستگاه موجود در کارخانه موتور با توان ۵/۵ کیلووات و دور ۱۵۰۰ انتخاب می‌شود.

### ۲-۶- محاسبات مربوط به پمپ هوای دستگاه آبگیری

محاسبه دبی مورد نیاز برای خشک کردن نسبی رطوبت موجود روی کشمش با هوایی به سرعت ۱۷متر بر ثانیه و در دمای محیط براساس رابطه (۱۵) انجام پذیرفت. قطر سوراخ‌های روی منیفولد هوا ۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. مقادیر محاسبه شده برای ۶ تن تولید در ساعت می باشد.

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 n r v \times 3600 = \frac{\pi}{4} \times (0.005)^2 \times 100 \times 4 \times 17 \times 3600 = 480 \ \frac{m^3}{hr} \quad (۱۵)$$

که D قطر سوراخ های خروجی هوا، n تعداد سوراخ های هر ردیف لوله، r تعداد ردیف لوله ها در منیفولد و v سرعت در نظر گرفته شده برای خروج هوا از سوراخ‌ها می‌باشند. با توجه به کاتالوگ‌های موجود، موتور با توان ۵/۵ کیلو وات مورد نیاز می‌باشد. البته می‌توان از ۲ موتور با توان ۳ کیلو وات نیز بهره برد.

### ۲-۷- محاسبات مربوط به پمپ سیرکولاسیون در ماشین شنگیر

با توجه به حجم ۴۰-۵۰ لیتری بین هر دو باله موجود در ماشین، و حجم کل ماشین که معادل ۵۰۰ لیتر می‌باشد، مقدار ۵۰۰ لیتر هم برای ذخیره و سیرکولاسیون در نظر گرفته می شود و در مجموع مقدار ۱۰۰۰ لیتر آب معادل ۱ مترمکعب برای ماشین شن‌گیر در نظر گرفته می‌شود. با توجه به خروج ۵-۱۰ لیتر در ثانیه از ماشین شنگیر، پمپ با دبی ۲۸/۸مترمکعب در ساعت مورد نیاز می‌باشد. شایان ذکر است، توان پمپ نیز بایستی در نظر گرفته شود که باعث رانش محصول توسط آب گردد. لذا پمپی با توان ۴کیلووات، دبی ۲۸ مترمکعب در ساعت، دور پروانه: ۲۹۰۰rpm با هد آب ۲۰ متر مورد نیاز خواهد بود.

### ۲-۸- پمپ سیرکولاسیون ماشین شستشو

با توجه به اینکه هدف از عملکرد این پمپ فقط انجام عمل زیرکش به منظور ایجاد فشار مکش در زیر قسمت‌های جمع آوری مواد زائد روی سطح آب است، لذا پمپ با توان و دبی بسیار پایین نیاز می‌باشد. پمپ با توان ۰/۵۵ کیلووات، دور پروانه ۱۴۵۰ rpm و دبی ۶ مترمکعب در ساعت انتخاب می‌شود.

## ۳- نتایج و بحث

براساس تغییرات داده شده در نحوه شستشو، و آبگیری محصول فله‌ای کشمش، صرفه‌جویی‌های چشمگیری در مصرف آب، انرژی و نیروی انسانی مورد نیاز اتفاق خواهد افتاد که به ترتیب توضیح داده می‌شود.

### ۳-۱- میزان صرفه‌جویی در مصرف آب

خط طراحی شده برای میزان محصول ورودی و خروجی با دبی ۱/۵ الی ۲ کیلوگرم بر ثانیه طراحی شده است. از جمله مهم‌ترین عواملی که در طراحی خط مورد نظر اعمال گردیده است، کاهش نسبت آب و کشمش در فرآیند شستشو است. این میزان در خطوط فعلی برای شستشو و شن‌گیری ۳۰ تن محصول معادل ۱۱۰ متر مکعب آب در روز است. یعنی بطور معمول برای شستن و شن‌گیری هرکیلوگرم محصول، ۳/۶۶ لیتر آب مصرف می‌شود. این میزان در خط طراحی شده با سعی در کنترل نرخ تزریق محصول و آب در ماشین شستشو برای شستن هر کیلوگرم محصول مقدار ۲-۱/۵ لیتر آب در نظر گرفته شده است. که در مجموع میزان آب مصرفی شستشو معادل ۶۰ متر مکعب برای شستن ۳۰ تن محصول می‌باشد. برای ماشین شن‌گیری

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

ظرفیت سیرکولاسیون ۱ متر مکعب در نظر گرفته شده است که توسط پمپ، سیرکوله شده و در هر ۱/۵ و حتی ۳ ساعت یکبار تخلیه می‌شود. که در مجموع در هر شیفت کاری ۸ ساعته میزان ۶ متر مکعب مصرف ماشین شن‌گیری خواهد بود. و نهایتا میزان مصرف آب خط طراحی شده معادل ۸۰-۷۷ متر مکعب در هر شیفت کاری محاسبه می‌شود که نشان دهنده کاهش ۳۵ درصدی مصرف آب می‌باشد.

### ۲-۳- میزان صرفه‌جویی در انرژی

براساس توضیحات داده شده در بخش مواد و روش‌ها و انتخاب انواع موتور، الکتروپمپ و موتورهای ویبره دار، جداول ۳ و ۴ انرژی اسمی مصرفی خط موجود و طراحی شده را نمایش می‌دهند.

**جدول ۳- تجهیزات الکتریکی موجود در خط شستشو و آبگیری کشمش**

**Table 3. Electrical equipment available in raisin washing and dewatering line**

| Equipment | Power | |
|---|---|---|
| | hp | kw |
| Conveyor | 3 | 2.24 |
| Vibration Sieve | 5.5 | 4.10 |
| Washing pump | 7.5 | 5.6 |
| Sieve after sand collector | 5.5 | 4.10 |
| Centrifuge | 10 | 7.46 |
| Conveyor after Centrifuge | 3 | 2.24 |
| Returned pump after sand collector | 7.5 | 5.6 |
| **Sum** | **42** | **31.34** |

**جدول ۴- تجهیزات الکتریکی خط طراحی شده شستشو و آبگیری کشمش**

**Table 4. Electrical equipment available in designed raisin washing and dewatering line**

| Equipment | Number | Power | |
|---|---|---|---|
| | | hp | kw |
| Conveyor | 1 | 3 | 2.24 |
| Vibration motor | 6 | 2.73 | 2.04 |
| Helix | 2 | 4 | 3 |
| Washing pool conveyor | 1 | 3 | 2.24 |
| Air pump | 2 | 2 | 1.5 |
| Circulation pump | 1 | 0.73 | 0.55 |
| Circulation pump of sand collector | 1 | 5.36 | 4 |
| Dewatering air pum | 2 | 6.7 | 5.5 |
| Second hunk breaker | 1 | 7.3 | 5.5 |
| **Sum** | *** | **34.82** | **26.56** |

که براساس این جداول، علی رغم بالا بودن تعداد دستگاه‌های مورد استفاده، کاهش ۱۵ درصدی در مصرف انرژی بصورت اسمی قابل حصول است.

### ۳-۳- میزان کاهش نیروی انسانی

تعداد نیروی کارگری در خط موجود کارخانجات در قسمت شستشو و آبگیری حداقل ۶ نفر می‌باشد که با باز طراحی آن به دو نفر کاهش پیدا می‌کند. بعبارت دیگر کاهش ۶۷ درصدی در نیروی انسانی مورد نیاز اتفاق خواهد افتاد.

## ۴- نتیجه‌گیری

روش قدیمی شستشو و آبگیری به دلیل مصرف بالای آب و انرژی و نیروی انسانی مورد نیاز، صاحبان صنایع را با مشکلات عدیده‌ای مواجه نموده است. که با تغییرات و اصلاح روش شستشو و آبگیری در خط جدید به دو طریق می‌توان مصرف انرژی و آب را کاهش داد. در این روش چون محصول فله‌ای قبل از ورود به حوضچه شستشو، از مواد زائد تمیز می‌گردد بخاطر همین نرخ مصرف آب و انرژی برای کل محصول کاهش می‌یابد. چرا که برای مواد زائد موجود در محصول آب و انرژی مصرف نمی‌شود. از طرف دیگر استفاده از جریان هوا برای ایجاد غلیان در آب و نوار نقاله برای خروج محصول

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشینهای کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

از حوضچه شستشو باعث می‌شود تا کاهش مصرف آب اتفاق افتد. تغییر روش آبگیری نیز باعث بر خط شدن خط آبگیری شده و نیاز به نیروی انسانی را برطرف می‌نماید. با تغییرات داده شده در خط شستشو و آبگیری، کاهش ۳۵ درصدی در مصرف آب، ۱۵ درصدی در مصرف انرژی علارغم تعداد زیاد دستگاهها نسبت به خط قدیمی و ۶۷ درصدی در نیروی انسانی مورد نیاز قابل حصول است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، بروزرسانی و تغییر خطوط موجود امری اجتناب‌ناپذیر و ناگزیر هم برای صاحبان صنایع و هم سیاست‌گذاران حوزه آب و صرفه جویی آن می‌باشد.

## ۵- تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله، تقدیر و تشکر خود از خوشه سبزه و کشمش معاونت صنایع کوچک شرکت شهرک‌های صنعتی استان آذربایجانشرقی و همین طور شرکت خشکبار مجتبی بناب به دلیل حمایت مالی و تامین فضای لازم برای تحقیق و پژوهش را اعلام می‌دارد.

## ۶- مراجع

Agricultural Statistics (2017). Ministry of Agriculture, Deputy Director of Economic and Planning, ICT Center (Persian).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران