

تحلیل سینتکی، محاسبه توان مصرفی و تعیین ضریب ایمنی ماشین پوست کن پسته نوع دو قفسه‌ای ساینده

اسماعیل محمودی^۱، کریم خضایی خسرقی^۲، علی جعفری^۳

چکیده

پسته یکی از محصولات مهم و استراتژیک کشورمان می‌باشد که سالانه وقت و هزینه‌های زیادی صرف فرآوری آن می‌شود. از این رو انجام پژوهش‌های علمی و کاربردی در زمینه توان مصرفی فرآیندهای مختلف فرآوری پسته، می‌تواند در کاهش انرژی مصرفی و در نهایت هزینه‌های مربوط به فرآوری آن، نقش مهمی ایفا کند. بنا به مطالعات انجام شده، فرآیند پوست کنی پسته نسبت به سایر مراحل فرآوری این محصول، نیاز به توان و انرژی بیشتری دارد و چون سیر پیشرفت و تکامل ماشین‌های پوست کنی پسته به سمت استفاده از مکانیزم قفسه‌های مشبک ساینده پیش می‌رود در این تحقیق سعی بر محاسبه توان مصرفی، تحلیل سینتکی و تعیین ضریب ایمنی ماشین پوست کنی پسته از نوع دو قفسه‌ای ساینده شده است. طبق نتایج بدست آمده از این پژوهش، ماکزیمم توان مصرفی برای پوست کن پسته نوع دو قفسه‌ای ساینده طراحی شده توسط محمودی و همکاران در سال ۱۳۸۶، ۴۱/۸ کیلووات و ضریب ایمنی آن، ۲/۱ بدست آمد.

کلمات کلیدی: پسته، ماشین پوست کنی، محاسبه توان، ضریب ایمنی،

مقدمه

ایران بزرگترین تولید کننده پسته دنیا می‌باشد که هر

ساله وقت و هزینه‌های زیادی صرف فرآوری این محصول در این کشور می‌شود. با توجه به مطالعات انجام شده توسط محققان (محمودی و همکاران، ۱۳۸۶)، فرآیند پوست کنی پسته نسبت به سایر مراحل فرآوری آن، نیاز به انرژی و توان بیشتری دارد. از این رو، تحلیل و بهینه سازی ماشین‌های مورد استفاده در فرآیند پوست کنی این محصول، می‌تواند نقش موثری در کاهش توان مصرفی فرآوری پسته داشته باشد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی،

دانشکده بیوسیستم کشاورزی دانشگاه تهران

Esmail_Mahmoodi@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی،

دانشکده بیوسیستم کشاورزی دانشگاه تهران

۳- عضو هیات علمی دانشگاه تهران دانشکده بیوسیستم کشاورزی دانشگاه

تهران

کلید واژه‌ها			
ρ_{ap}	چگالی واقعی پسته بدون پوست (۲۴ ساعت بعد از برداشت)	$p\mathcal{E}$	تخلخل پسته سبز
ρ_{bp}	چگالی ظاهری پسته	A_s	مساحت مقطع پولک تحت برش پوست سبز پسته
W_p	وزن کل پسته داخل مخزن	F_s	نیروی مورد نیاز برای برش پولک تحت برش پوست سبز پسته
W_w	وزن آب موجود در خلل و فرج محصول پسته هنگام شستشو	τ_u	تنش برشی نهایی پوست سبز پسته
V_a	حجم واقعی پسته داخل محفظه فرآوری	T_{ht}	گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن قفسه ساینده خارجی
V_b	حجم کل محفظه فرآوری	T_{hl}	گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن قفسه ساینده داخلی
V_e	حجم خلل و فرج توده محصول پسته	T_{h2}	گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن کف انحدار
D_1	قطر قفسه ساینده خارجی	T_{hs}	گشتاور مورد نیاز برای چرخش کف محفظه فرآوری و قفسه ساینده داخلی (اعمالی روی شافت)
D_2	قطر قفسه ساینده داخلی	P_t	حداکثر توان مورد نیاز برای الکتروموتور شماره (۱)
k_{am}	ضریب مساحت و همزنی	P_s	حداکثر توان مورد نیاز برای الکتروموتور شماره (۲)
k	ضریب شبکه بندی	P	توان کل مورد نیاز
h	ارتفاع محفظه فرآوری	F	کل نیروی وارد بر کف مخزن (مجموع وزن پسته و آب هنگام شستشو)
n_h	دور مورد نیاز برای پوست کنی پسته		

ماشین‌های پوست کنی پسته به سمت استفاده از مکانیزم قفسه‌ای مشبک ساینده پیش می‌رود (محمودی و همکاران، ۱۳۸۶)، از این رو، در این تحقیق سعی بر محاسبه توان مصرفی، تحلیل سینتیکی و تعیین ضریب ایمنی کل ماشین پوست کنی پسته از نوع قفسه‌ای ساینده شده است. طراحی و بهینه‌سازی این ماشین توسط محققان این مقاله در سال ۱۳۸۶ انجام شده است.

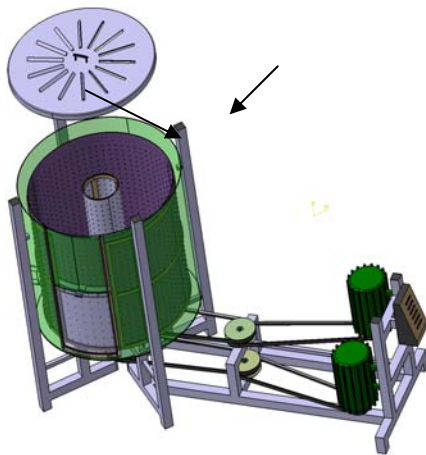
مواد و روش‌ها

نمایی کلی از ماشین مورد مطالعه در این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده است. اصول کاری این ماشین بر این اساس است که پسته ریخته شده درون محفظه پوست کنی نشان داده شده در شکل ۱، توسط چرخش ساعتگرد و پاد ساعتگرد قفسه‌های ساینده داخلی و خارجی، تحت تاثیر تنش برشی شکست قرار گرفته و پوست سبز آن جدا می‌شود، سپس مواد زائد و پوست‌های کنده شده از محصول، توسط آب از دستگاه خارج می‌شود.

صنعت کشاورزی و بسیاری از صنایع تبدیلی جهت انجام فرآیندهای فرآوری، تبدیل، نقل و انتقال و انبارداری نیاز به انرژی و توان به شکل‌های مختلف الکتریکی و حرارتی دارند. الکتریسیته و نفت بخش اعظم انرژی مورد نیاز برای فرآیندهای فرآوری محصولات کشاورزی و صنایع تبدیلی را تشکیل می‌دهند (سینق و همکاران، ۱۹۹۷).

جکینفا و بامبوی در سال ۲۰۰۶، مطالعات خود را بر روی انرژی مورد نیاز جهت فرآوری محصول بلارد، انجام دادند. آن‌ها مقدار انرژی مورد نیاز برای آسیاب کردن بلارد را بین ۰/۲۱ تا ۱/۱۶۱ مگا ژول بر کیلوگرم، مقدار انرژی الکتریکی مورد نیاز را بین ۰/۰۵۲ تا ۰/۰۲۹ مگا ژول بر کیلوگرم و مقدار انرژی حرارتی مورد نیاز را بین ۰/۰۸۵ تا ۱/۰۶۴ مگا ژول بر کیلوگرم، بدست آوردند.

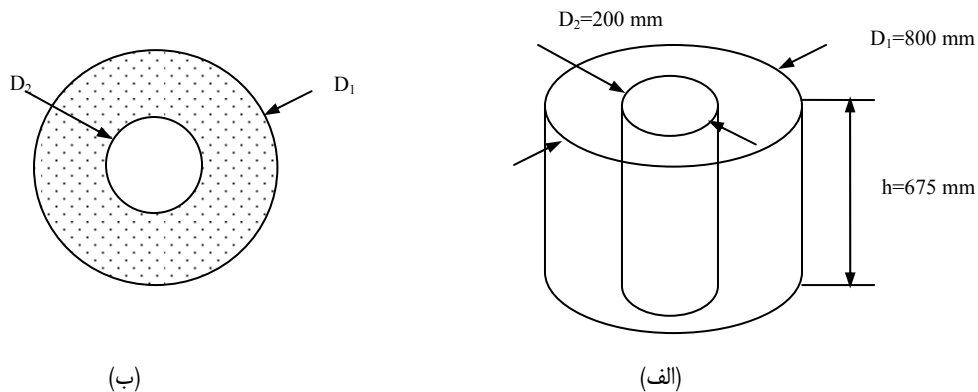
در فرآوری پسته، فرآیند پوست کنی نسبت به سایر مراحل فرآوری این محصول، نیاز به توان و انرژی مصرفی بیشتری دارد. با توجه به اینکه سیر پیشرفت و تکامل



شکل (۱) - دستگاه چند منظوره فرآوری پسته

محاسبه توان مورد نیاز دستگاه

ماشین چند منظوره فرآوری پسته که توسط محمودی و همکاران در سال ۱۳۸۶ طراحی شده است و در این مقاله مورد تحلیل قرار گرفته است، در مرحله پوست کنی بیشترین توان را نیاز دارد. بنابراین، این مرحله از فرآوری، تعیین کننده ماکزیمم توان مورد نیاز این ماشین می باشد. ابعاد و اندازه‌های قفسه‌های ساینده داخلی و خارجی به منظور تحلیل سینتیکی دستگاه چند منظوره فرآوری پسته، در شکل ۲- الف و کف انحنادار محفظه فرآوری که به همراه قفسه ساینده داخلی می چرخد در شکل ۲- ب نشان داده شده است.



شکل (۲) - ابعاد محفظه فرآوری: الف) - قفسه‌های ساینده داخلی و خارجی. ب) - کف انحنادار محفظه فرآوری

کن‌های خشکبار متداول امروزی، مقدار $k=0.01137$ در نظر گرفته شده است (شرکت کاسل، ۲۰۰۵). همچنین، بنا به مطالعات انجام شده توسط محققان (محمودی و همکاران، ۱۳۸۶)، مقدار تنش برشی نهایی شکست برای پوست سبز پسته، ۲۴ ساعت پس از برداشت، $\tau_{ii}=0.007$ MPa در نظر گرفته شده است.

بنابراین داریم:

$$T_{hi} = (\pi/2) \cdot D_1^2 \cdot h \cdot \tau_{ii} \cdot k \Rightarrow T_{hi} = 540 \text{ (N.m)} \quad (1)$$

گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن قفسه داخلی نیز به روشی مشابه، به صورت زیر محاسبه می شود.

گشتاور مورد نیاز جهت چرخاندن قفسه ساینده خارجی، از حاصل ضرب مساحت محیطی آن در ضریب شبکه بندی k و تنش برشی نهایی پوست سبز پسته τ_{ii} و شعاع داخلی قفسه ساینده خارجی (شکل ۲- الف)، بدست می آید. ضریب شبکه بندی k از تقسیم مساحت کل شبکه‌ها (سوراخ‌ها)، بر مساحت جانبی استوانه ساینده خارجی، بدست می آید که در واقع با ضرب این مقدار ثابت در مساحت جانبی هر کدام از قفسه‌های ساینده داخلی و خارجی، مساحت کل سوراخ‌های روی ساینده که عمل برش را انجام می دهند، محاسبه می شود. با توجه به بررسی‌های انجام شده در مورد پوست

با توجه به رابطه محاسبه توان گشتاوری (رابطه-۵)، توان مورد نیاز برای چرخاندن قفسه ساینده خارجی، محاسبه می‌شود (گورینگ و هانسن، ۲۰۰۵).

$$P_t = (2\pi \cdot T_{ht} \cdot n_h) / 60 \Rightarrow P_t = 22.6 \text{ (kw)} \quad (5)$$

همچنین توان مورد نیاز برای جرخاندن مجموعه قفسه ساینده داخلی و کف انحادار، مشابه قبل بدست می‌آید،

$$P_s = (2\pi \cdot T_{hs} \cdot n_h) / 60 \Rightarrow P_s = 19.2 \text{ (kw)} \quad (6)$$

بنابراین توان کل مورد نیاز دستگاه را مطابق زیر محاسبه می‌کنیم،

$$P = P_t + P_s \Rightarrow P = 41.8 \text{ (kw)} \quad (7)$$

تحلیل قطعات و تعیین ضریب ایمنی دستگاه

با توجه به خصوصیات ساختاری دستگاه، شافت محرک قفسه ساینده داخلی و کف انحادار و تکیه گاه آن، جزء قطعات حساس این ماشین به شمار می‌روند که بیشترین تنش را تحمل می‌کنند (شکل ۳- الف و ب).

شافت از لوله‌ای به ضخامت ۷/۵ میلیمتر از جنس فولاد St37 با استحکام تسلیم $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$ در نظر گرفته شده است که دو عامل زیر، موجب تنش‌های بحرانی در آن می‌شوند.

اولی، گشتاوری است که توسط پولی به شافت وارد می‌شود، که مقدار آن در بخش ۱.۲، محاسبه شد.

$$T_{hs} = 457.8 \text{ N.m}$$

دومی، نیروی ناشی از وزن آب و توده محصول هنگام عملیات شستشو است که به صورت عمودی به شافت وارد می‌شود. برای محاسبه این نیرو فرض شده است که در بدترین حالت هنگام شستشوی محصول، تمام خلل و فرج بین دانه‌های پسته، مملو از آب شوند، که در این صورت با داشتن چگالی واقعی پسته، چگالی آب، تخلخل پسته پوست شده و حجم کل محفظه فرآوری، می‌توان مقدار این نیرو را محاسبه نمود. طبق مطالعات انجام شده توسط محققان، مقدار $\rho_{ap} = 3 \text{ gr/cm}^3$ برای چگالی ظاهری پسته، مقدار

$$T_{h1} = (\pi/2) \cdot D_2^2 \cdot h \cdot \tau_u \cdot k \Rightarrow T_{h1} = 33.8 \text{ (N.m)} \quad (2)$$

برای محاسبه گشتاور مورد نیاز جهت چرخاندن کف انحادار، دو عامل مورد بررسی قرار گرفته است. اولی، تنش برشی نهایی پوست سبز پسته است که باید در مساحت کف انحادار ضرب شود تا گشتاوری که صرف پوست کنی روی این سطح می‌شود، محاسبه گردد. دوم اینکه، چون کف انحادار علاوه بر پوست کنی عمل همزدن محصول را نیز به عهده دارد، از این رو به گشتاوری اضافی، جهت انجام این فرآیند نیاز است. برای در نظر گرفتن این دو عامل، از ضریب مساحت و همزنی k_{am} استفاده شده است. نسبت مساحت کف انحادار به مساحت تصویر آن روی سطح افق (شکل ۲- ب)، به وسیله نرم افزار Catia V5R16 محاسبه شده است. برای محاسبه ضریب مساحت و همزنی k_{am} ، نسبت مساحت کف انحادار به مساحت تصویر آن روی سطح افق را دو برابر در نظر می‌گیریم تا فاکتور هم زدن کف انحادار نیز تحت پوشش قرار گیرد. بنابراین، مقدار $k_{am} = 2.26$ برای این ضریب محاسبه شده است. از این رو، گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن کف انحادار عبارتست از حاصلضرب مساحت تصویر افقی آن (شکل ۲- ب) در تنش برشی نهایی پوست سبز پسته، شعاع متوسط، ضریب مساحت و همزنی k_{am} و ضریب شبکه بندی.

بنابراین داریم:

$$T_{h2} = (\pi/8) \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot (D_1 + D_2) \cdot \tau_u \cdot k_{am} \cdot k \Rightarrow T_{h2} = 424 \text{ (N.m)} \quad (3)$$

در نتیجه گشتاور مورد نیاز برای چرخاندن مجموعه قفسه ساینده داخلی و کف انحادار، از حاصل جمع T_{h1} و T_{h2} بدست می‌آید.

$$T_{hs} = T_{h1} + T_{h2} \Rightarrow T_{hs} = 457.8 \text{ (N.m)} \quad (4)$$

با تحقیق در مورد دستگاه‌های موجود پوست کنی ساخت شرکت کاسل (شرکت کاسل، ۲۰۰۵)، دور مورد نیاز برای این فرآیند، $n_h = 400 \text{ rpm}$ در نظر گرفته شده است.

کم کردن حجم واقعی توده محصول از حجم ظاهری آن، محاسبه می کنیم (محسنین، ۱۹۸۰).

از طرفی، حجم واقعی طبق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$V_a = 100 \cdot V_b / (100 + \epsilon_p) \Rightarrow V_a = 0.216 \text{ (m}^3\text{)} \quad (11)$$

بنابراین حجم تهی مطابق زیر محاسبه می شود (محسنین، ۱۹۸۰).

$$V_e = V_b - V_a \Rightarrow V_e = 0.102 \text{ (m}^3\text{)} \quad (12)$$

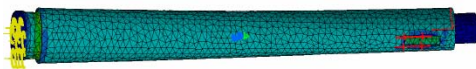
بنابراین، وزن آب موجود مساوی است با:

$$W_w = \rho_w \cdot g \cdot V_e \Rightarrow W_w = 1 \text{ (kN)} \quad (13)$$

با توجه به محاسبات بالا، نیروی عمودی وارد بر شافت دستگاه مساوی است با:

$$F = W_p + W_w \Rightarrow F = 10.36 \text{ (kN)} \quad (14)$$

تکیه گاه شافت این دستگاه، از ورقی به ضخامت ۱۰ میلیمتر از جنس فولاد St37 با استحکام تسلیم $\sigma_y = 250$ MPa طراحی شده است و چون تمام وزن محصول و آب موجود در خلل و فرج آن، توسط این قطعه به شاسی دستگاه منتقل می شود بنابراین، تحلیل تنش در این قطعه نیز ضروری می باشد. تحلیل تکیه گاه شافت نیز با استفاده از روش المان محدود در نرم افزار Catia V5R16 براساس معیار وان میسنز (بیر و جانستون، ۱۹۸۱)، انجام شده است (شکل ۳-ب).



(ب)

$\rho_w = 1 \text{ gr/cm}^3$ برای چگالی آب و مقدار $\epsilon_p = 47\%$ ، برای تخلخل پسته پوست شده در نظر گرفته شده است (کاشانی نژاد و همکاران، ۲۰۰۴).

ابتدا وزن کل پسته موجود در محفظه فرآوری، محاسبه شده و سپس وزن آب موجود در خلل و فرج توده محصول را به آن اضافه می کنیم تا کل نیروی عمودی وارد بر شفت و تکیه گاه آن بدست آید.

با توجه به رابطه زیر (محسنین، ۱۹۸۰)، چگالی ظاهری توده محصول پسته بدست می آید.

$$\epsilon_p = (1 - \rho_{bp} / \rho_{ap}) * 100 \Rightarrow \rho_{bp} = 1.6 \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (8)$$

بنابراین، وزن محصول پسته، از حاصلضرب وزن مخصوص آن (ρ_g) در حجم محفظه فرآوری بدست می آید. (حجم ظاهری توده پسته مساوی حجم محفظه فرآوری می باشد).

$$\Rightarrow W_p = \rho_{ap} \cdot g \cdot V_b$$

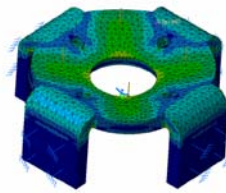
از طرفی:

$$V_b = (\pi/4) \cdot h \cdot (D_1^2 - D_2^2) \Rightarrow V_b = 0.318 \text{ (m}^3\text{)} \quad (9)$$

بنابراین داریم:

$$W_p = (\pi/4) \cdot h \cdot \rho_{ap} \cdot g \cdot (D_1^2 - D_2^2) \Rightarrow W_p = 9.36 \text{ (kN)} \quad (10)$$

برای محاسبه وزن آب موجود در خلل و فرج توده محصول، وزن مخصوص آب را در حجم تهی (حجم خلل و فرج توده محصول)، ضرب کرده و سپس، حجم تهی را از



(الف)

شکل (۳) - توزیع تنش وان میسنز در قطعات حساس دستگاه چند منظوره فرآوری پسته. (الف) - شافت. (ب) - تکیه گاه شافت

به شافت دستگاه، این قطعه با استفاده از روش المان محدود توسط نرم افزار Catia V5R16، مورد تحلیل قرار گرفته

بحث و نتیجه گیری

با توجه به مقادیر بدست آمده برای نیرو و گشتاور وارده

می‌باشد که در نتیجه این قطعه با ابعاد و اندازه، ضریب ایمنی $F.S=3.7$ را دارد. چون مقادیر پایین ضریب ایمنی هزینه ساخت تکیه گاه شافت را به مقدار قابل توجهی بالا می‌برد و ایمنی دستگاه را پایین می‌برد بنابراین قطعه مورد نظر با ضریب ایمنی $3/7$ بازده مناسبی را برای این دستگاه دارد.

با توجه به توان ماکزیم مصرفی دستگاه و ضرایب ایمنی مناسب قطعات آن و همچنین مکانیزم‌های ساده و ارزان تسمه و پولی برای انتقال نیرو، نحوه مونتاژ ساده، قابلیت پذیرش سیستم‌های اتوماتیک برای انجام فرآیندهای ذکر شده و دیگر مزایای قابل پیش بینی برای ماشین چند منظوره فرآوری پسته، می‌توان به توانایی قابل توجه این ماشین و همچنین کاهش هزینه‌های کلی فرآوری این محصول، پی برد.

است. با توجه به اینکه توزیع تنش در این قطعه یکنواخت بوده و چگالی انرژی کرنش در تمام حجم قطعه به طور یکسان توزیع شده است (شکل ۳-الف)، ماکزیم تنش بحرانی (معیار وان میسز) در شافت، $\sigma_{max}=119$ MPa بدست آمد، در نتیجه این قطعه با این ابعاد و اندازه، با ضریب اطمینان $F.S=2.1$ قابل استفاده می‌باشد که هم ایمنی و هم صرفه جویی مناسب در مواد مصرفی را برای ساخت دارد. از طرفی چون ضریب اطمینان $F.S=2.1$ ، پایین ترین مقدار ایمنی در بین قطعات دستگاه می‌باشد، ضریب ایمنی کل دستگاه نیز محسوب می‌گردد.

نتایج بدست آمده از تحلیل المان محدود تکیه گاه شافت دستگاه (شکل ۳-ب)، نشان می‌دهد که ماکزیم تنش بحرانی (معیار وان میسز) در شافت، $\sigma_{max}=67$ MPa

منابع

۱. محمودی، ا.، ع. محمدی، ع. جعفری، م. هدایتی زاده، (۱۳۸۶) طراحی و توسعه ماشین چند منظوره جهت انجام فرآوری پسته،
۲. محمودی، ا.، ع. محمدی، ع. جعفری، ح. فتح الله زاده، (۱۳۸۶) تحلیل و مقایسه عملکرد انواع ماشین‌های پوست کن پسته،
۳. محمودی، ا.، م. خجسته نژاد، ک. خضایی، ع. جعفری، (۱۳۸۶) تحلیل و بررسی پارامترهای موثر در طراحی ماشین پوست کنی پسته،
4. Beer. F. P., R. Johnston., (1981), Mechanics Of Materials. McGRAW-HILL Book Company, ISBN 0-07-004284-5.
5. Fabbri. A., L. Ferguson., V.S. Polito., (1998), Crop load related deformity of developing Pistacia vera cv 'kerman' nuts, Journal of science Horticulturae, 77, 219-234.
6. GOERING. E. C., A. C. HANSEN., Engine And Tractor Power, 4th EDITION (2004, rev. printing 2005)
7. Jay. J, M., E.S. Bertram., Pistachio Huller, United States Patent, Patent Number; 4,034,665, Filed; July, 12, 1977.
8. Jekayinfa. S. O., A.I. Bamgboye., (2006)., Estimating energy requirement in cashew (Anacardium occidentale L.) nut processing operations., Energy 31, 1305-1320.
9. Joseph. V., V. Benjamin., Method of hulling pistachio nuts, United States Patent, Patent Number; 4,353,931, Filed; Jun. 19, 1981.
10. Joseph. V., V. Benjamin., Pistachio Nuts Hulling Apparatus, United States Patent, Patent Number; 5,245,918, Filed; Sep. 21, 1993.
11. Kader, A. A., C.M. Henitz., J.M. Labavitch. & H.L. Rae. (1991). Review of Studies related to the description and evaluation of pistachio nut quality. Journal of the American Society for Horticultural science, 107(5), 812-816.

12. Kashaninejad. M., A.A. Mortazavi.L.G Safekordi.& Tabil, (2004), Some physical properties of Pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel, *Journal of Food Engineering*, 72, 30–38.
13. Kusel equipment company, (2005), RC "WATERLESS" Peeler & Scrubber, Patent Number; **5,106,641**, <http://www.kusequipment.com>,
14. Mohsenin, N. N. (1980). *Physical properties of plants and animal materials*. New York: Gordon and Breach Science Publishers, NW.
15. Singh S,SR.Verma,JP Mittal. (1997)., Energy requirements for production of 4 major crops in India. *J Agric Mech Asia Africa Latin Am*;28(4):13–17.
16. Vanmark Corporation, Peeler, Scrubber and Washer series 2900, (2005), *Equipment For The Food Industry*, <[Http://www.vanmarkcorp.com](http://www.vanmarkcorp.com)>

Kinetic Analysis, Power Calculation and Safety Factor Determination of a Two-Corrosive-Cage Pistachio Peeler.

Abstract

Pistachio is one of the strategic productions of our country, Iran, which takes a lot of time yearly to be processed, So doing scientific and applicable researches about its power demand through the different process stages, can play an important role in power demand and expense decreases.

Based on the achievements of researchers, pistachio peeling stage takes the highest amount of energy compared to other stages and due to the orientation of pistachio peeler development toward the corrosive cage types, in this study we have tried to calculate the power demand and focus on kinetic analysis and safety factor determination of a two-corrosive-cage pistachio peeler.

According to the achieved results, this type of pistachio peeler has the maximum power demand of 41.8 KW and the 2.1 safety factor.

Key words: Pistachio, Pistachio peeler, peeling power, safety factor.