

تعیین خواص مکانیکی ساقه کرفس و بهینه‌سازی سرعت و زاویه برش به روش سطح پاسخ

رشید غلامی^{*}، حکمت ربانی^۱، نگین سهرابی^۲

۱. دانشکده کشاورزی سنقر، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۲. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
۳. دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تبریز

چکیده

کرفس به‌عنوان یکی از محصولات مهم و پرکاربرد در زمینه غذا و دارو شناخته شده است. آگاهی از فرآیند برش این محصول در طراحی سامانه‌های برداشت و پس از برداشت آن از اطلاعات مهم و مفید می‌باشد. بنابراین در این مطالعه به بررسی فرآیند برش این محصول با استفاده از دستگاه اینسترون و تیغه با زاویه تیزی ۱/۷ درجه پرداخته شد. به‌منظور بررسی نحوه و تأثیر سرعت و زاویه برش بر نیروی برش، انرژی لازم برای برش و مدول الاستیسیته کرفس از روش سطح پاسخ استفاده شد. سرعت برش در سه سطح ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و زاویه برش نیز در سه سطح صفر، ۳۰ و ۴۵ درجه بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که روش سطح پاسخ توانایی بررسی و بهینه‌یابی شرایط حاکم بر برش ساقه کرفس را دارا می‌باشد. همچنین نتایج نشان داده که بیشترین مقدار نیروی برش، انرژی لازم برای برش و مدول الاستیسیته در سرعت ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و زاویه برش صفر درجه بوده است. بنابراین با استفاده از زوایا و سرعت‌های برش بالاتر می‌توان فرآیند برش را به نحوی مطلوب‌تر انجام داد.

کلمات کلیدی:

کرفس، نیروی برش، انرژی برش، مدول الاستیسیته، روش سطح پاسخ

*رشید غلامی

r.gholami@razi.ac.ir

تعیین خواص مکانیکی ساقه کرفس و بهینه‌سازی سرعت و زاویه برش به روش سطح پاسخ

مقدمه

کرفس با نام علمی (*Apium graveolens*) گیاهی علفی و یکساله می‌باشد، که به‌عنوان یک گیاه دارویی شناخته شده است [۵]. میوه، برگ و ساقه این گیاه دارای ترکیبات مختلفی بوده و هر دو به‌عنوان گیاه دارویی شناخته شده‌اند، ترکیبات رایج موجود در ساقه و برگ‌های در نشان داده شده است. از طرفی دیگر ساقه این گیاه مصرف غذایی دارد و در سبذ غذایی خانوار ایرانی از جایگاهی ویژه برخوردار است. بنابراین یکی از محصولاتی است که فرآوری آن مد نظر هر دو صنعت دارو و غذا می‌باشد کرفس است.

جدول ۱- ترکیبات موجود ساقه و برگ در کرفس [۵]

درصد موجود در ساقه و برگ‌های گیاه کرفس	ترکیب
۸۰/۳۰ تا ۹۳/۵	رطوبت
۸ تا ۰	پروتئین
۰/۶ تا ۰/۱	چربی
۱/۴ تا ۱/۲	فیبر
۲/۱ تا ۰/۹	مواد معدنی
۰/۳ تا ۰/۲۳	کلسیم
۰/۴ تا ۰/۱۴	فسفر
۰/۰۶ تا ۰/۰۵	آهن
IV ۷۵۰۰ تا ۵۸۰۰	ویتامین A
مقدار ناچیز	ویتامین B
۶۲/۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم	ویتامین C

در زمینه فرآوری محصولات کشاورزی استفاده خصوصاً گیاهانی مانند کرفس برش آن‌ها به قطعات کوچک‌تر یکی از مباحث مهم می‌باشد. از طرفی دیگر آگاهی از خواص مکانیکی گیاهان و محصولات کشاورزی می‌تواند از اطلاعات مهم و کلیدی در زمینه برداشت، فرآوری، بسته‌بندی، انتقال و نگهداری آن‌ها باشد [۷، ۸]. در میان خواص مکانیکی مختلف محصولات و تولیدات کشاورزی پارامترهای مربوط به برش به‌علت اینکه در طراحی دستگاه‌های برداشت و پس از برداشت بسیار مهم هستند مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند [۴]. در دو مطالعه خواص مکانیکی گل محمدی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج این مطالعه‌ها نشان داد از جمله اثرگذارترین پارامترهای مؤثر بر برش و مقاومت در برابر برش و سایر مشخصات مکانیکی مهم در فرآیند برش سرعت و زاویه برش از جمله اثرگذارترین پارامترها می‌باشند [۶]. علاوه بر این مطالعات دیگری برای برش گیاه آلوئه‌ورا، شیرین بیان و لوبیا سبز نیز انجام شد که نتایج آن‌ها نیز بیان‌گر تأثیر بسیار زیاد این دو متغیر بر ویژگی‌های برشی محصولات کشاورزی است [1-3].

بنابراین هدف از این مطالعه بررسی فرآیند برش ساقه گیاه کرفس و مطالعه تأثیر سرعت و زاویه برش بر این فرآیند می‌باشد. بدین منظور برای بررسی نحوه تأثیر متغیرهای مستقل بر پارامترهای اندازه‌گیری شده از روش سطح پاسخ استفاده شد.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر گیاه کرفس از بازار میوه و تره‌بار شهر کرمانشاه تهیه شد، سپس نمونه‌ها با احتیاط و تحت شرایط ویژه به آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه رازی کرمانشاه منتقل شدند. تعداد ۴ نمونه مربوط به آزمایش با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند، و در آن با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. سپس وزن شده و محتوای رطوبتی آنها بر پایه وزن تر به دست آمد.

آزمایش‌های برش

برش نمونه‌ها با عمود شدن تیغه بر بعد عرضی نمونه‌ها انجام گرفت. برای برش از تیغه تیزتر با زاویه تیزی ۱/۷ درجه استفاده شد. نیروی برش، انرژی مصرفی برای برش و مدول الاستیسیته ساقه کرفس با استفاده از دستگاه آزمون کشش-فشار^۱ مجهز به لودسل با ظرفیت ۵۰۰ نیوتن و با دقت ۰/۰۰۱ نیوتن به دست آمد. منحنی نیرو-جابه‌جایی از لحظه تماس تیغه تا زمان برش کامل نمونه‌ها ترسیم گردید. نیروی برش بیشینه، نقطه‌ی اوج منحنی نیرو-جابه‌جایی بوده و از این نمودار به دست آمد. همچنین سطح زیر منحنی نیرو-جابه‌جایی انرژی مصرفی برای برش می‌باشد.

به منظور بررسی نحوه تأثیر زاویه برش و سرعت برش بر نیروی برش و انرژی مصرفی برای برش از روش سطح پاسخ و نرم‌افزار Design Expert استفاده شد. بدین منظور از طرح بهینه تصادفی استفاده شد، متغیرها و سطوح آنها در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. تکرار نقاط مرکزی بازه برای این مطالعه پنج مرتبه لحاظ گردید. برای حذف اثرات تصادفی، هر آزمایش طراحی شده توسط نرم‌افزار با سه تکرار انجام و میانگین آنها مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۲- متغیرهای مستقل و سطوح آنها برای طراحی آزمایش

Independent variables	Coded	Unit	Factorial and center level			
			1 level	2 level	3 level	4 level
Angle	X ₁	degree	0	30	45	-
Speed	X ₂	mm/min	150	250	350	450

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل بر اساس پیشنهاد نرم‌افزار Design Expert، مدل‌های مختلف ارزیابی و انتخاب شدند. سپس بر اساس نتایج به دست آمده با استفاده از آنالیز واریانس و مقدار F-test تأثیر معنی‌دار و غیرمعنی‌دار متغیرهای مستقل مشخص گردید. سپس نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل با نتایج تجربی مقایسه و ضریب همبستگی (R²) برای آنها به دست آمد. همچنین سایر آماره‌های قابل استفاده برای ارزیابی کیفیت و کارایی مدل مانند انحراف معیار (SD)، ضریب تغییر (% CV)، تابع مطلوبیت (DF) و دقت مناسب (AP) محاسبه شده توسط نرم‌افزار، مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که درصد رطوبت ساقه‌ها بر پایه تر برابر با ۹۳٪ بود، که نشان دهنده محتوای رطوبتی بالای ساقه گیاه کرفس می‌باشد. نتایج طرح مرکب مرکزی در ابتدا طراحی آزمایش‌ها است که بر اساس طراحی

¹ Zwick /roll universal testing machine

² Desirability function

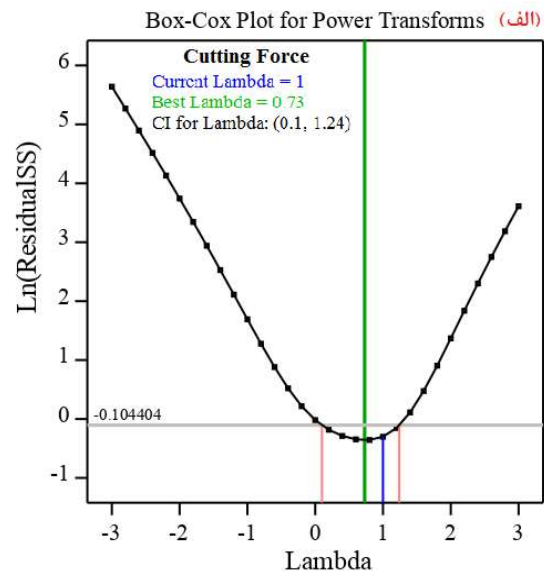
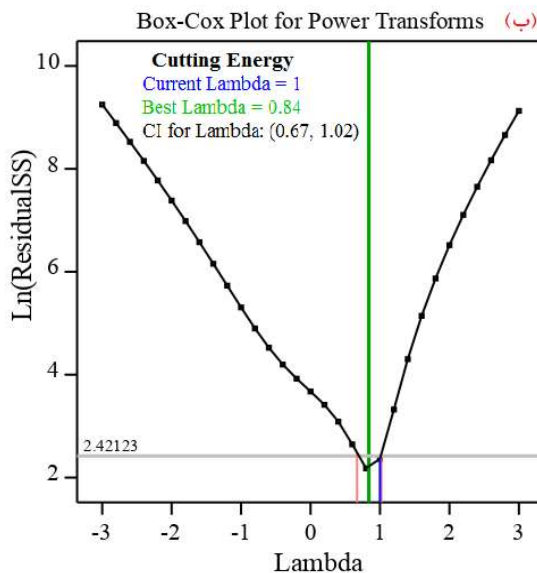
³ adequate precision

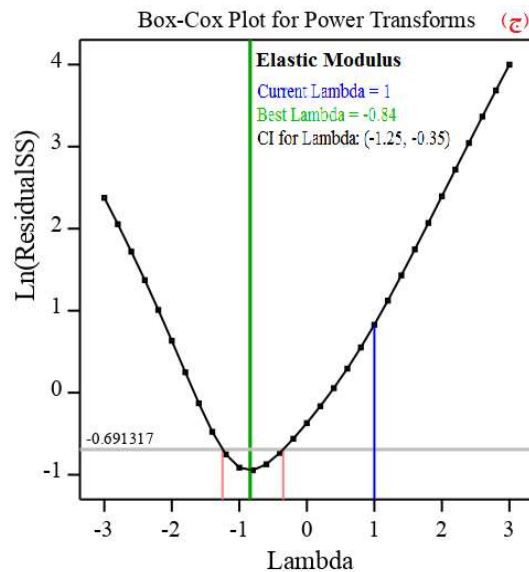
انجام شده، آزمایشات برش ساقه کرفس انجام شد. سپس داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های تجربی، به نرم افزار داده شد. در مرحله اول مدل‌های پیشنهاد شده بررسی شدند و نتایج حاصل در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد بهترین مدل برای هر سه پارامتر مدل درجه دوم می‌باشد.

جدول ۳- ضرایب تبیین مدل‌های بررسی شده

پارامتر	مدل خطی	مدل 2FI	مدل درجه دوم
نیروی لازم برای برش	۰/۸۶۹۴	۰/۹۴۱۶	۰/۹۹۷۲
انرژی لازم برای برش	۰/۸۳۸۰	۰/۹۹۱۷	۰/۹۹۸۹
مدول الاستیسیته	۰/۹۱۰۷	۰/۹۵۷۹	۰/۹۶۹۷

سپس فرض نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت که برای آن نمودار باکس-کاکس رسم شد (شکل ۱). همان‌گونه که مشاهده می‌شود بر اساس نمودار باکس-کاکس مقدار لاندای مدل‌های فعلی ۱ می‌باشد در حالی که بهترین مقدار آن برای انرژی برش ۰/۷۳ بوده که در بازه اطمینان ۰/۹۵٪ برابر با ۰/۱ تا ۱/۲۴ قرار دارد. به علاوه بهترین مقدار لاندای برای نیروی برش برابر ۰/۸۴ به دست آمد که در بازه اطمینان ۰/۹۵٪ از ۰/۶۷ تا ۱/۰۲ قرار دارد. بنابراین هر دو مدل در بازه اطمینان ۰/۹۵٪ بوده و نیاز به تابع انتقال ندارند. اما بهترین مقدار لاندای مربوط به مدل مدول الاستیسیته ۰/۸۴- بوده و در بازه اطمینان آن نیز قرار ندارد، بنابراین برای این متغیر مدل انتقالی معکوس اعمال شد.





شکل ۱- نمودار باکس- کاکس الف (نیروی برش، ب) انرژی برش، ج) مدول الاستیسیته

مدل‌های مربوط به نیروی برش، انرژی برش و مدول الاستیسیته در معادله‌های (۱) تا (۳) نشان داده شده است.

$$Y_1 = 26.47 - 0.251X_1 - 0.052X_2 + 0.0007X_1X_2 - 0.004X_1^2 + 0.00003X_2^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 21395 - 2.98X_1 - 0.575X_2 + 0.007X_1X_2 - 0.01X_1^2 + 0.004X_2^2 \quad (2)$$

$$\frac{1}{Y_3} = 0.063 - 0.0001X_1 - 0.0001X_2 + 5.89 \times 10^{-6} X_1X_2 + 0.00001X_1^2 + 8.97 \times 10^{-7} X_2^2 \quad (3)$$

در این معادلات X_1 نشان دهنده زاویه برش بر حسب درجه، X_2 سرعت برش بر حسب میلی‌متر بر دقیقه، Y_1 نیروی برش بر حسب نیوتن، Y_2 انرژی برش بر حسب میلی‌ژول و Y_3 مدول الاستیسیته بر حسب مگاپاسکال می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز واریانس مربوط به مدل‌های فوق در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هر سه مدل در سطح احتمال ۹۹٪ معنی‌دار بوده و مقدار lack-of-fit مربوط به هر سه مدل غیرمعنی‌دار می‌باشد که نشان می‌دهد مدل‌های به‌دست آمده توانایی پیش‌بینی پارامترهای مد نظر در برش ساقه کرفس را دارند. تمامی ضرایب مدل‌ها نیز در سطح احتمال ۹۹٪ معنی‌دار هستند بنابراین در مدل حفظ شدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب تبیین مدل مربوط به نیروی برش برابر با ۰/۹۹۸ می‌باشد و مقدار انحراف معیار، میانگین و ضریب تغییرات آن به ترتیب ۰/۲۲۲، ۹/۳۶۵ و ۲/۳۷۱٪ محاسبه شد. به‌علاوه ضریب تبیین مربوط به پیش‌بینی مدل ۰/۹۹۷ به‌دست آمد که نشان می‌دهد مدل توانایی بالایی در پیش‌بینی داده‌ها دارد و داده‌های حاصل از آزمایشات با داده‌های تخمین زده شده توسط مدل بسیار نزدیک به هم می‌باشند. همچنین ضریب تبیین مدل مربوط به انرژی برش برابر با ۰/۹۹۹ می‌باشد و مقدار انحراف معیار، میانگین و ضریب تغییرات به ترتیب ۰/۸۴۳، ۵۶/۲۸ و ۱/۵۰٪ محاسبه شد. این مقادیر نشان‌دهنده پراکندگی کم داده‌ها و نزدیک بودن آن‌ها به مقدار متوسط می‌باشد. ضریب تبیین مدل مربوط به مدول الاستیسیته برابر با ۰/۹۹۰ می‌باشد و مقدار انحراف معیار، میانگین و ضریب تغییرات به ترتیب ۰/۳۹۱، ۸/۴۹ و ۴/۶۰٪ محاسبه شد. از آنجایی که مقدار ضریب تغییرات هر سه مدل کمتر از ۱۰٪ بوده مدل‌های به‌دست آمده، reproducibility می‌باشد [۷]. مقدار آماره AP مدل مربوط به نیروی برش، انرژی برش و مدول الاستیسیته به ترتیب برابر با ۱۳۶/۲۴، ۲۶۰/۲۶ و

۵۶/۵۶ محاسبه شد که این آماره نشان دهنده نرخ سیگنال نویز است، و اگر مقدار آن بیشتر از ۴ باشد نشان دهنده، کافی بودن سیگنال است [۸].

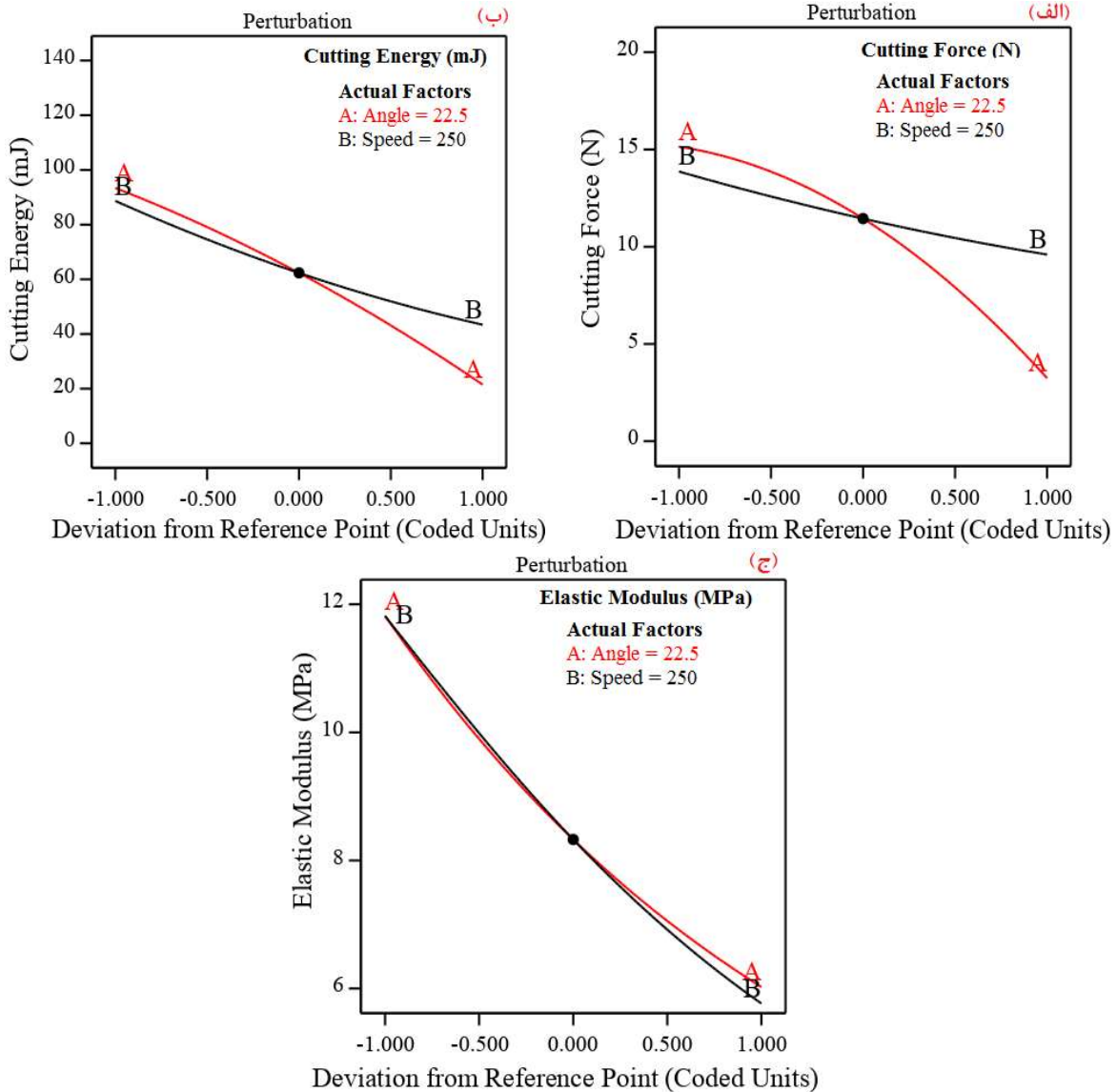
جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس مربوط به مدل درجه دوم برای هر سه پارامتر مورد بررسی

Source	df	Cutting Force		Cutting Energy		Elastic Modulus	
		MS ^b	F-value	MS	F-value	MS	F-value
Model	5	98.85**	2005.46	4674.13**	6583.93	0.0094**	1400.15
X ₁	1	424.83**	8618.46	15518.18*	21858.74	0.02**	2946.74
X ₂	1	53.69**	1089.10	6046.17**	8516.57	0.023**	3444.67
X ₁ X ₂	1	23.57**	478.06	2210.24**	3113.31	0.001**	216.26
X ₁ ²	1	18.77**	380.81	88.87**	125.18	0.0001**	14.94
X ₂ ²	1	0.3971**	8.06	67.04**	94.43	0.0004**	58.35
Residual	15	0.0493	-	0.71	-	6.74×10 ⁻⁶	-
Lack of Fit	3	0.0740 ^{ns}	1.717	0.59 ^{ns}	0.801	1.53×10 ^{-6ns}	0.191
Pure Error	12	0.0431	-	0.739	-	8.04×10 ⁻⁶	-
Cor Total	20	-	-	-	-	-	-

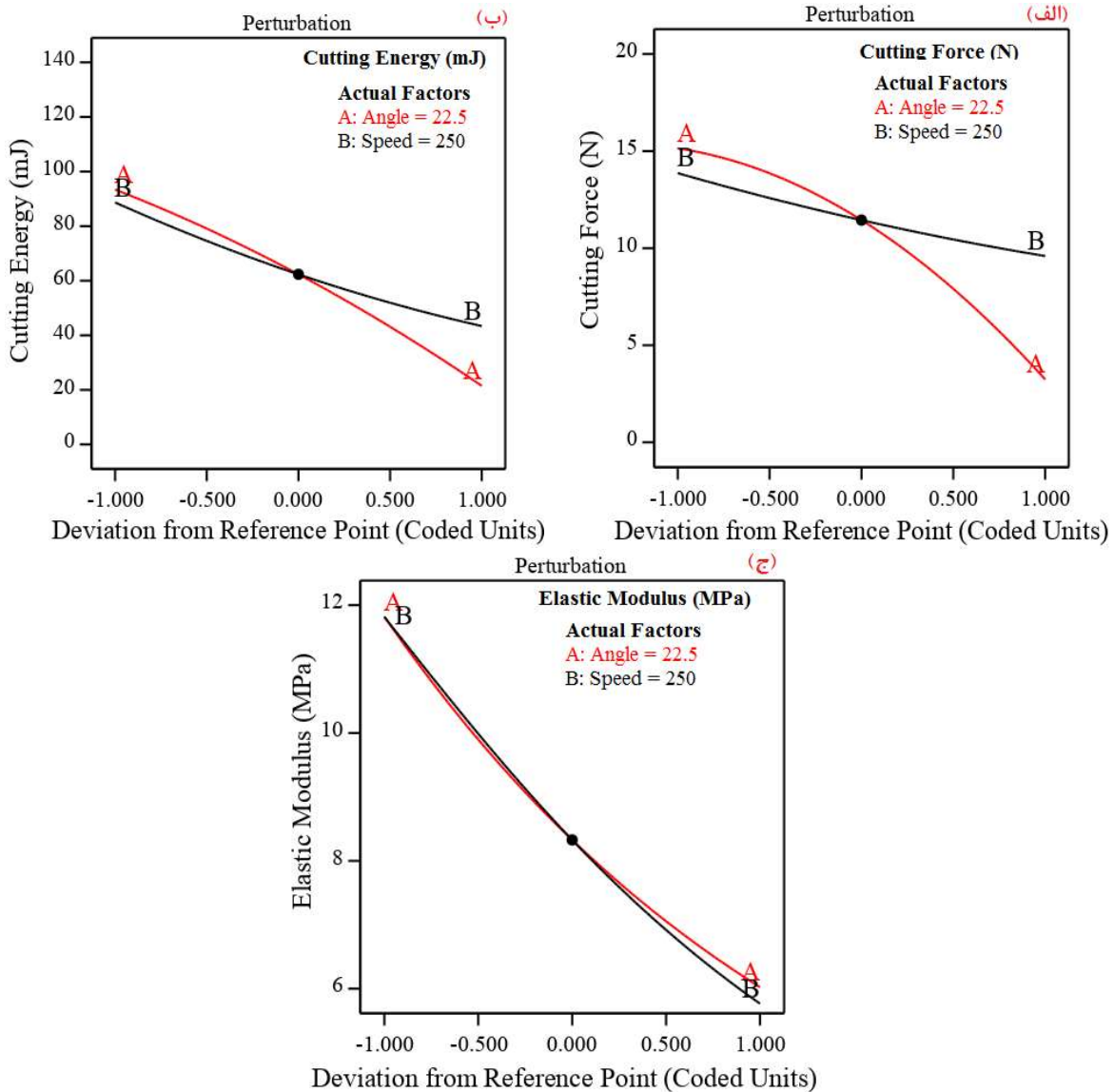
Model Summary Statistics							
Response	Std. Dev.(SD)	Mean	Coefficient of Variance (C.V. %)	R ²	Adj-R ²	Pred-R ²	AP
Cutting Force	0.222	9.365	2.371	0.9985	0.998	0.997	136.24
Cutting Energy	0.843	56.28	1.50	0.9995	0.9994	0.9989	260.26
Elastic Modulus	0.391	8.49	4.60	0.9898	0.9864	0.9697	56.56

^a Degree of freedom, ^b Mean of Square, ** Significant relationship at 1%, * Significant relationship at 5%, ^{ns} Not significant

برای بیان نحوه تأثیر متغیرهای مستقل، نمودار پرشیدگی که در آن تأثیر متغیرهای مستقل مشاهده می شود رسم گردید)

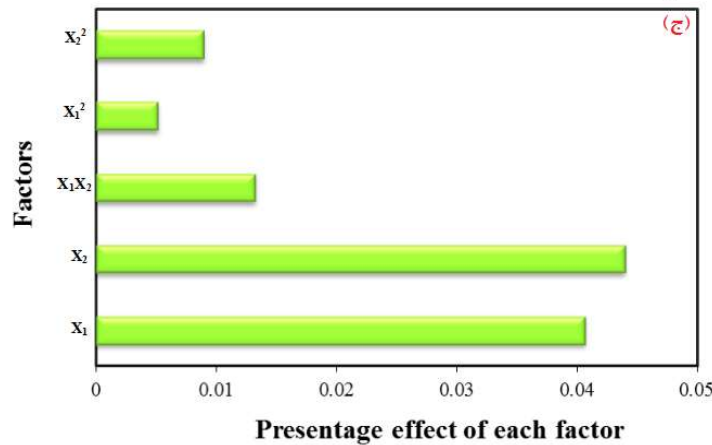
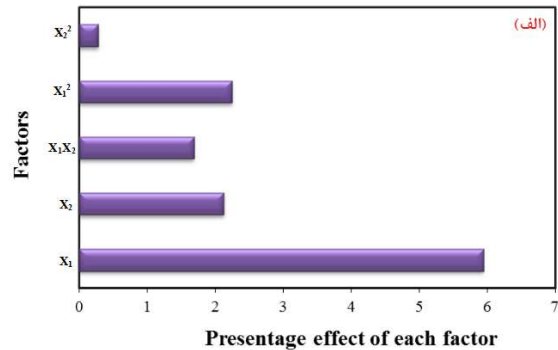
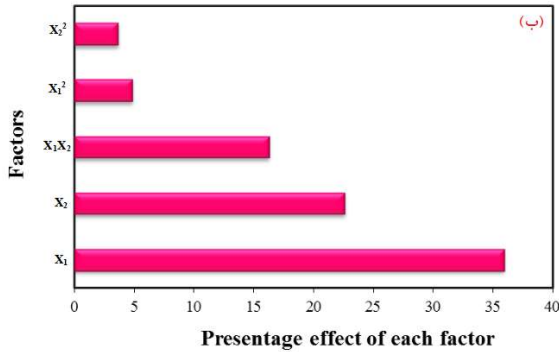


شکل ۲. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مورد هر سه متغیر مورد بررسی تأثیر سرعت و زاویه برش به صورت معکوس می‌باشد به عبارتی در سرعت و زاویه برش بزرگ‌تر مقادیر این پارامترها کمینه است.



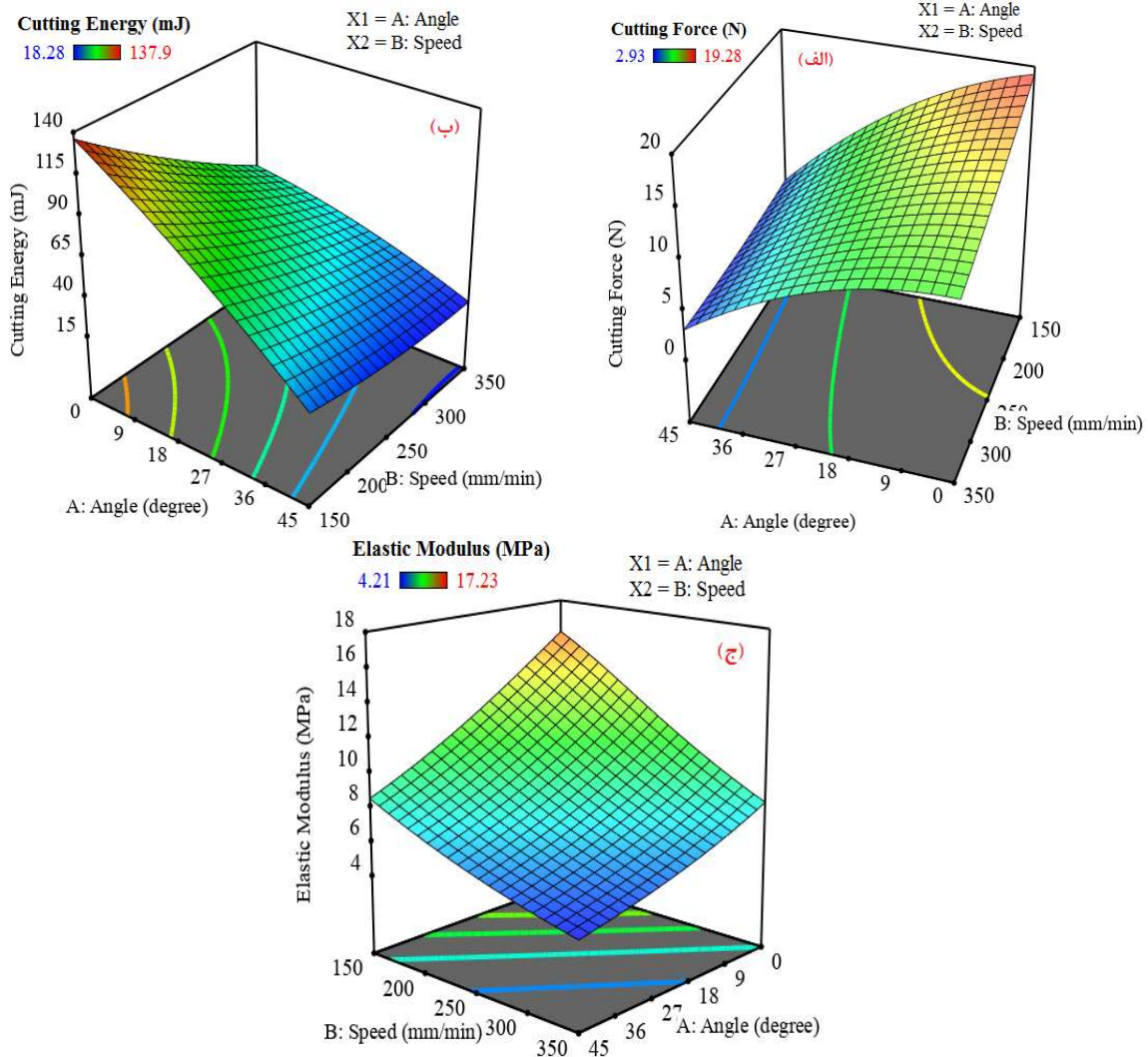
شکل ۲- نمودار پخشیدگی (الف) نیروی برش، (ب) انرژی برش، (ج) مدول الاستیسیته

در نمودارهای شکل ۲ و معادله‌های (۱) و (۳) حساسیت پاسخ به متغیرهای مستقل مشاهده می‌شود اما مقادیر متغیرهای مستقل مقدار واقعی می‌باشد و بزرگی و کوچکی مقدار ضرایب تحت تأثیر مقدار عددی آن متغیر نیز می‌باشد. برای بررسی نحوه تأثیر متغیرهای مستقل و تأثیرات متقابل با هم به صورت کد شده نمودار پارتو برای آن‌ها رسم گردید. نمودار پارتو برای هر سه متغیر وابسته مورد بررسی، در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود توان اول زاویه برش بیشترین تأثیر را بر مقدار نیرو و انرژی برش دارد و توان دوم سرعت برش کمترین تأثیر را بر این متغیرها دارد (شکل ۳-الف و ب). علاوه بر این نمودار پارتو مربوط به مدول الاستیسیته نیز نشان می‌دهد که سرعت برش مؤثرترین پارامتر بر این متغیر بوده و کمترین تأثیر مربوط به توان دوم زاویه برش است (شکل ۳-ج).



شکل ۳- نمودار پارتو درصد تأثیر تمامی جملات معنی‌دار موجود در مدل‌ها (الف) نیروی برش، (ب) انرژی برش، (ج) مدول الاستیسیته

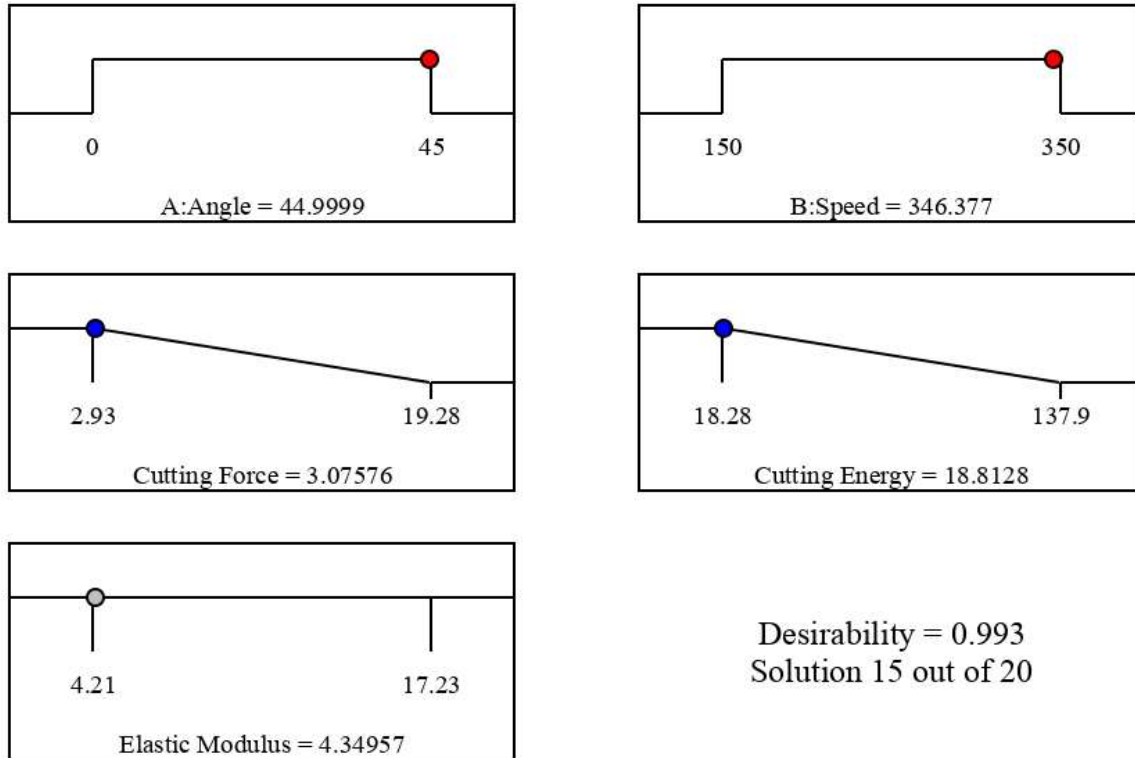
همان‌طور که از معادله‌های (۱) تا (۳)، شکل ۳ و جدول ۴ مشاهده می‌شود تأثیر متقابل متغیرها بر هر سه متغیر مورد بررسی معنی‌دار است. از این‌رو برای بررسی تأثیر متقابل متغیرها بر این سه متغیر وابسته نمودارهای سه‌بعدی که تأثیرات متقابل در آن‌ها مشاهده می‌شود، مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیر متقابل سرعت و زاویه برش (شکل ۴-الف و ب) بر نیروی برش و انرژی برش نشان می‌دهد که در زاویه‌های پایین تغییر سرعت تأثیر بیشتری بر نیرو و انرژی برش دارد. علاوه بر این مشاهده می‌گردد در زاویه ۴۵ درجه در تمامی سرعت‌های برش تقریباً انرژی لازم برای برش مقدار مشابهی می‌باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با در نظر گرفتن زاویه برش مناسب در سرعت‌های مختلف می‌توان فرآیند برش را با صرف نیرو و انرژی کمتری انجام داد. برای مدول الاستیسیته نیز نتایج مانند نیرو و انرژی برش می‌باشد؛ علاوه بر این کمینه مقدار هر سه متغیر در سرعت و زاویه برش بالاتر می‌باشد.



شکل ۴- نمودارهای مربوط به اثرات متقابل متغیرهای مستقل الف) نیروی برش، ب) انرژی برش، ج) مدول الاستیسیته

در نمودارهای سه‌بعدی شرایط بهینه مربوط به متغیرهای مستقل به صورت دو به دو نشان داده شد اما برای تعیین شرایط بهینه کلی، این نمودارها کفایت لازم را ندارند. همچنین در نمودارهای سه‌بعدی نمی‌توان شرایط مطلوب مد نظر را اعمال نمود. از این رو برای یافتن شرایطی که در آن همه متغیرها به صورت مطلوب و به گونه‌ای باشند که انرژی لازم برای برش و نیروی برش کمینه باشند، به بهینه‌سازی پارامترها پرداخته شد. شکل ۵ نمودارهای مربوط به پروفایل‌های واقعی هر متغیر مستقل که نقاط بهینه در آن‌ها مشخص گردیده به همراه نمودار مربوط به بیشینه و کمینه انرژی لازم برای برش و نیروی برش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در فرآیند برش ساقه کرفس در زاویه برش ۴۵ درجه و سرعت برش ۳۴۶ یا تقریباً ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه مقدار انرژی مورد نیاز برای برش و نیروی برش به ترتیب برابر با ۱۸/۸۱ mJ و ۳/۰۷ N پیش‌بینی می‌شود. علاوه بر این مدول الاستیسیته برای این شرایط برابر با ۴/۴ GPa تخمین زده شده است. به منظور ارزیابی این نتایج آزمایش برش در شرایط مذکور انجام شده و انرژی لازم برای برش، نیروی برش و مدول الاستیسیته مورد نیاز محاسبه گردید. مقادیر به دست آمده انرژی مورد نیاز برای برش

و نیروی برش در آزمایش تجربی به ترتیب برابر با $19/01 \text{ mJ}$ و $3/28 \text{ N}$ می باشد. این تفاوت کم نشان می دهد که طرح بهینه و روش سطح پاسخ به طور مؤثری می تواند شرایط فرآیند برش ساقه کرفس را بررسی و شرایط بهینه را مشخص کند.



شکل ۵- پروفایل های واقعی با داشتن نقاط پیش بینی برش مطلوب ساقه کرفس از منظر انرژی و نیروی مورد نیاز برای برش

نتیجه گیری و پیشنهادها

در مطالعه حاضر به بررسی شرایط مناسب برای برش ساقه کرفس و اندازه گیری و مقادیر نیروی برش، انرژی برش و مدول الاستیسیته این محصول پرداخته شد. نتایج به طور کلی نشان دادند که سرعت برش و زاویه برش تأثیر زیادی بر انرژی لازم برای برش دارند و با تعیین و در نظر گرفتن مقادیر مناسب آن‌ها می توان فرآیند برش را به صورتی مناسب تر و با هزینه های عملیاتی کم تر انجام داد. در مورد برش ساقه کرفس مشاهده شد که بیشترین مقدار نیروی برش، انرژی برش و مدول الاستیسیته به ترتیب برابر با $19/26 \text{ N}$ ، $137/9 \text{ mJ}$ و $17/23 \text{ GPa}$ می باشد. همچنین کمترین مقدار نیروی برش، انرژی برش و مدول الاستیسیته به ترتیب برابر با $2/93 \text{ N}$ ، $18/28 \text{ mJ}$ و $4/21 \text{ GPa}$ می باشد. بنابراین توصیه می گردد در طراحی و استفاده از دستگاه های فرآوری محصول کرفس این نکات مد نظر قرار گیرد. همچنین روش سطح پاسخ توانایی بررسی و بهینه یابی شرایط مناسب برای برش ساقه کرفس را دارد.

منابع:

۱. ربانی، ح. سهرابی، نگین و غلامی، ر. ۱۳۹۸. تعیین نیرو، کار و مدول الاستیسیته برشی گیاه آلوئه ورا، دوازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران
۲. ربانی، ح. سهرابی، ن. و رنجبرنژاد، ف. ۲۰۱۴. تعیین خواص مکانیکی گیاه دارویی شیرین بیان (*Glycyrrhizaglabra L*)، علوم مکانیک در ماشین‌های کشاورزی ۱(۲)، ۳۹-۴۸.
۳. سهرابی، ن. ربانی، ح. و غلامی، ر. ۱۳۹۲. تعیین مقاومت برشی، مقاومت کششی، انرژی برش و کندن گلبرگ و کاسبرگ گل محمدی، مهندسی زراعی ۳۶(۲)، ۹۳-۱۰۴.
4. Bochat, A., Zastempowski, M., and Wachowicz, M. 2021. Cutting Tests of the Outer Layer of Material Using Onion as an Example, *Materials*, 14(9) 23-60 .
5. Fazal, S.S., Singla, R.K. 2012. Review on the pharmacognostical & pharmacological characterization of *Apium graveolens* Linn, *Indo Global Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2(1), 36-42 .
6. Rabbani, H., Sohraby, N., Gholami, R., Jaliliantabar, F., and Waismorady, A. 2015. Determination of mass density module, crush resistance coefficient and cutting efficiency of rose (*Rosa Damascene* Mill), *Scientia Horticulturae*, 190, 144-148.
7. Sharma, B., Gatóo, A., and Ramage, M.H. 2015. Effect of processing methods on the mechanical properties of engineered bamboo, *Construction and Building Materials*, 83, 95-101 .
8. Yilmaz, M. and Gokduman, E. 2017. Determination of Cutting Properties of Sage (*Salvia Officinalis* L.) at Different Harvesting Time, *Scientific Papers-Series A, Agronomy*, 60, 443-446.

Determination of mechanical properties of celery stalk and optimization of cutting speed and angle by response surface method

Rashid Gholami^{*1}, Hekmat Rabbani², Negin Sohrabi³

1. Agricultural Faculty of Songhor, Razi University, Kermanshah
2. Mechanical Engineering of Biosystems Department, Razi University, Kermanshah
3. Ph.D. of Mechanical Engineering of Biosystems, Tabriz University

Abstract

Celery is known as one of the most important and widely used products in the field of food and medicine. Knowledge of the cutting process of this product is important and useful in designing harvesting and post-harvesting systems. In this study, the cutting process was investigated by using an Instron machine equipped by a blade with a sharp angle of 1.7 degrees. In order to investigate the effect of cutting and angle speed on the cutting force, the energy required for cutting and the modulus of elasticity of celery, the response surface method was used. Cutting speed at three levels (150, 250 and 350 mm / min) and cutting angle at three levels (zero, 30 and 45 degrees) were assessed. The results showed that the response surface method has the ability to investigate and optimize the conditions governing on the cutting of celery stalks. The results also showed that the maximum amount of cutting force, energy required for cutting and modulus of elasticity were at the minimum amount of cutting speed and angle. Therefore, by using higher angles and cutting speeds, the cutting process can be done at a lower cost.

Key words

Celery, shear force, shear energy, modulus of elasticity, response surface methodology

* Rashid Gholami

E-mail: r.gholami@razi.ac.ir