تعیین برخی خواص فیزیکی و مکانیکی دانهٔ نخود

حسن ذکی دیزجی*[۱]، سعید مینایی[۲]

۱-دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی

۲-دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی

چکیده

در این تحقیق سه رقم از ارقام رایج نخود در کشور (بیونیژ، آی ال سی ٤٨٢ و فیلیپس ۹۳ـ۹۳) در سه سطح رطوبت برداشت (١٦-١٥، ٢١-٢٠ و ٢٦-٢٥ درصد بر پایه تر) و دو جهت بارگذاری(طولی و عرضی) مورد آزمایش بارگذاری قرار گرفتند. متغیرهـای وابـسته عبارتنـد از: نیـروی گـسیختگی، انرژی گسیختگی، چغرمگی، تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی و برخی خواص فیزیکی دانه. نتایج تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که رطوبـت تـأثیر بـسیار معنی‌داری بر حجم، قطر هندسی و خواص مکانیکی دانه نخود دارد. با افزایش رطوبت ، نیروی گسیختگی، انرژی گسیختگی و چغرمگی کاهش، تغییر شکل افزایش می‌یابد. در همین راستا تأثیر جهت قرارگیری (بارگذاری) و رقم فقط بر نیروی گسیختگی معنـی‌دار اسـت. بـه طـور کلـی، درشـترین و کوچکترین دانه‌های نخود به ترتیب مربوط به رقمهای فیلیپس و بیونیژ است. ضریب کرویت رقم آی ال سی نسبت به سایر ارقام بیشتر است. کمینه و بیشینه انرژی لازم برای تخریب دانه نخود به ترتیب ٢٤/٧ میلی‌ژول، در جهت بارگذاری طولی ودر رطوبت ٢٥ درصـد و ١٥٦/٣ میلـی‌ژول ، درجهـت بارگذاری طولی و رطوبت ١٥ درصد بدست آمد. نتایج بیانگر این مطلب است که بیشترین احتمال دولپه شدن مربوط بـه جهـت بارگـذاری طـولی در رطوبت ٢٥درصد بوده است. از میان سه رقم مورد بررسی، رقم فیلیپس مقاومت بیشتری به لپه شدن دارد و رقم آی ال سی از دو رقـم دیگـر بـه ایـن حالت (دولپه شدن) حساس‌تر است. معادله‌های رگرسیونی حاصل از بـرازش نمـایی بـر روی داده‌هـا، بـرای تخمـین پارامترهـای مکـانیکی برحـسب پارامترهای فیزیکی و رطوبت با ضریب تعیین بالای ۰/۹۰ بدست آمدند. نتایج آزمونهای رگرسیونی نشان داد که دانه‌های درشت‌تر، مقاومـت بیـشتری نسبت به لپه شدن دارند.

کلید واژگان: دانهٔ نخود(*Cicer arietinum L.*)، لپه شدن، خواص فیزیکی و مکانیکی

۱- مقدمه

نخود از حبوباتی است که به علت تثبیت ازت خاک ، توانائی رشد در مناطق گرم و خشک و داشتن فواید بسیار در تناوب با غلات نقش مهمی در تناوب زراعی و اصلاح زمین‌های زراعی دارد. کشت نخود در اکثر نقاط ایران به استثنای سواحل دریای خزر کم و بیش معمول است. مهمترین نقاط کشت آن عبارتند از : آذربایجان شرقی و غربی ، دشت مغان ، قزوین ، کرمانشاه ، استان فارس ، خراسان ، کرمان ، لرستان، کردستان و استان مرکزی. حبوبات را به دو روش دستی (سنتی) و مکانیزه برداشت می‌کنند. در برداشت دستی ساقه‌ها را با داس درو کرده و یا بوته‌ها را از ریشه در آورده و مدتی برای خشک شدن در محلی نگهداری می‌کنند تا رطوبت محصول به حدود ٢٠-١٤ درصد بر پایه تر برسد. سپس برای جدا کردن دانه‌ها از بوته اقدام به خرمنکوبی می‌شود. خرمنکوبی حبوبات مثل خرمن کوبی غلات است ، ولی چون دو لپهٔ دانهٔ حبوبات به سهولت از یکدیگر جدا می‌شوند ، به هنگام کوبیدن باید دقت کرد که دانه‌ها خرد یا «لپه» نشوند. لپه شدن ممکن است درسایر تکنیکهای فرآوری پیش بیاید. بعضی از ارقام نخودرا که دارای صفاتی مطلوب نظیر فرم ایستادهٔ بوته، ارتفاع بلند و زیاد بودن

*مسئول مکاتبات: zakih7@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

فاصلهٔ اولین غلاف از سطح زمین می‌باشند، می‌توان با کمباین برداشت نمود. در ایران به علت نبود و یا کمبود کمباین برداشت نخود، کوچک بودن مزارع و یا کوتاه بودن اغلب ارقام رایج نخود، اکثراً محصول را به روش دستی برداشت می‌کنند[۱].

صدمات و ضایعات نخود می‌تواند شامل آسیب دیدن جنین، کنده شدن یا خراش برداشتن پوسته و یا «لپه‌ای» شدن نخود باشد. در این میان لپه‌ای شدن اهمیت بیشتری دارد. زیرا اگر نخود «دولپه» شود، علاوه بر کاهش شدید کیفیت و قیمت، ممکن است در برخی عملیات فرآوری، لپه‌ها و یا بذور شکسته همراه با سایر مواد زاید دور ریخته شوند. بنابراین لازم است شرایط دو لپه‌ای شدن ارقام نخود تحت بارگذاری مورد بررسی قرار گیرد. رطوبت توصیه شده نخود در هنگام برداشت ۲۰-۱۵ درصد و بهترین درصد رطوبت برداشت ۱۸ درصد بر پایه تر می‌باشد. اگر رطوبت محصول خیلی کم باشد، محصول در حین عملیات برداشت شکسته و یا شکاف بر می‌دارد و اگر رطوبت محصول زیاد باشد (بیش از ۲۰ درصد بر پایه تر) ممکن است دانه‌ها هنگام برداشت لهیده شوند[۲].

کناک و همکاران خواص فیزیکی دانه نخود (رقم کوچباسی[1]) را تعیین کردند. ایشان علاوه بر خواص فیزیکی (ابعاد، حجم توده و حجم دانه)، تخلخل، زاویه سکون و ضریب اصطکاک دینامیکی و استاتیکی روی سطوح پلاستیکی، فلزی و چوبی ونیز پارامترهای دیگری مثل سرعت حد و نیروی گسیختگی در رطوبتهای مختلف را تعیین کردند. وقتی رطوبت افزایش می‌یافت، نیروی گسیختگی کاهش می‌یافت. ایشان تعدادی روابط توانی برای پیش‌بینی نیروی گسیختگی برحسب رطوبت ارائه نمودند[۳].

چند مورد تحقیق دربارهٔ خواص فیزیکی و مکانیکی نخود در ایران انجام یافته است که به آن اشاره می‌شود. کرمانی درکنار بررسی ضریب اصطکاک سینتیکی برخی خواص فیزیکی دانه‌های نخود را تعیین کرد[٤]. آقا گل‌زاده و همکاران برای طراحی و ساختن ماشین بوجاری و درجه‌بندی نخود علاوه بر خواص آیرودینامیکی و ضریب اصطکاک برخی ارقام نخود، برخی خواص فیزیکی (پارامترهای ابعادی و قطر هندسی) را نیز تعیین کردند[۵]. خزایی در یک بررسی جامع، آزمایشهای مختلفی بر روی ساقه و دانهٔ گیاه نخود انجام دادند. ایشان در آزمایشی نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه دست نخوردهٔ نخود را در بارگذاری شبه استاتیکی تعیین کردند و اثر رقم، رطوبت، جهت بارگذاری و اندازه دانه را مورد بررسی قرار دادند[٦]. از نتایج آزمایشهای استاتیکی و شبه استاتیکی می‌توان در پیشگویی نتایج بارگذاری دینامیکی استفاده کرد. همچنین برخی محققین بر این عقیده‌اند که نتایج آزمایشهای شبه استاتیکی می‌تواند معیاری برای طراحی ماشینهای کشاورزی و فرآوری مورد استفاده قرار گیرند[۷، ۸ و ۹]. برخی محققان به این نتیجه رسیده اند که با افزایش رطوبت، آسیبهای مکانیکی کاهش می‌یابد[۹]. ولی احتمال می‌رود این نتیجه همیشه صادق نباشد، علی‌الخصوص وقتی لپه شدن دانه مطرح باشد.

با توجه به موارد اشاره شده و لزوم بررسی آسیب دیدن نخود به صورت لپه، هدف از این تحقیق، مطالعه برخی خواص فیزیکی (ابعاد، قطرهندسی، حجم دانه و ضریب کرویت) و خواص مکانیکی(نیروی گسیختگی، انرژی گسیختگی، چغرمگی، تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی) می‌باشد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مواد(آماده‌سازی نمونه‌ها)

در این تحقیق سه رقم از ارقام رایج نخود(Cicer arietinum L.) در کشور یعنی بیونیز، آی ال سی ٤٨٢ و فیلیپس ۹۳ـ۹۳که هر سه رقم در سال ۱۳۸۱ در منطقه کرمانشاه کاشت و برداشت شده بودند برای آزمایش انتخاب شدند. دو رقم آخری اصلاح شده و رقم بیونیز، رقم محلی کرمانشاه می‌باشد. این رقم دارای خصوصیات خوبی از قبیل مقاومت به خشکی و شوری خاک بوده، رنگ روشن و اندازه‌ای نسبتاً درشت دارد. همچنین به علت اینکه شاخه‌دهی آن از پایه شروع می‌شود، رقمی پر محصول به شمار می‌آید.

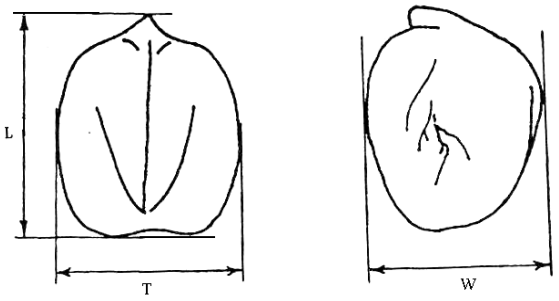
حدود ۳۰۰ گرم از هر سه رقم وزن شده و سپس به دقت با دست تمیز شدند و مواد خارجی (کاه و کلش و خاشاک) همچنین بذور شکسته و نرسیده از نمونه‌ها جدا شدند. رطوبت نخودها در هوای آزمایشگاه (۲۰ درجهٔ سانتیگراد) در هنگام شروع آزمایش (اسفند ماه ۱۳۸۱) ۸-۷ درصد بر پایهٔ تر بود. رطوبت پایه برای آزمایش بر اساس رطوبت پیشنهاد شده در هنگام برداشت می‌باشد. بدین ترتیب سطوح رطوبت برای آزمایش ١٦-١٥ درصد، ٢١-٢٠ درصد و ٢٦-٢٥ درصد بر پایه تر انتخاب شدند. رطوبت اولیهٔ نخود که بر اساس روش

[1] - Kochbasi

Archive of SID
www.SID.ir

استاندارد ASAE اندازه‌گیری شده بود، ۷/۵۸ درصد بر پایه‌ی تر به دست آمد [۱۰]. برای دست‌یابی به رطوبت‌های مورد نظر، حجم مناسبی از آب (که با محاسبه‌ای ساده بر اساس رطوبت اولیه و جرم دانه‌ها بدست می‌آید) به ۳۰ گرم نخود در بطری‌های شیشه‌ای آب‌بندی شده اضافه گردید و بیش از یک شبانه‌روز در یخچال (دمای ٥-٤ درجه سانتیگراد) نگهداری شدند.

با توجه به شکل نخود، سه حالت برای جهت‌های قرارگیری دانه هنگام بارگذاری متصور است که در شکل ۱ هر سه بعد نخود نشان داده شده است. از پنس آزمایشگاهی برای نگه داشتن دانه هنگام بارگذاری مورد استفاده قرارگرفت. نگه داشتن دانه توسط پنس تا وارد آمدن نیروی صفحه بارگذاری ادامه داشت.



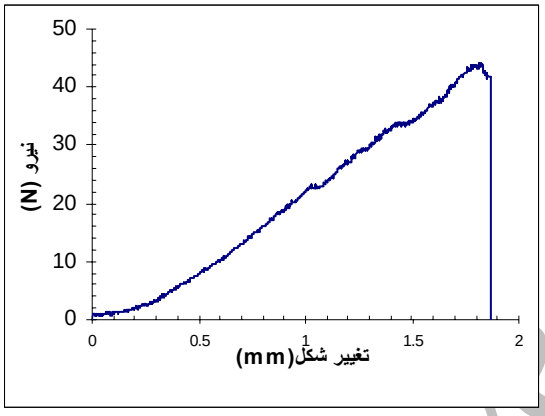
شکل ۱ سه بعد اندازه‌گیری شدهٔ دانهٔ نخود (L طول دانه، T پهنای دانه و W عرض دانه)

حالتهای استقرار پایدار نخود تقریباً در تمامی نخودها، حالتی است که نخود روی پهنا یا عرضش قرار گرفته باشد. به منظور جلوگیری از جوانه زدن بذور و تغییر نیافتن بافت نخود در هوای گرم، عملیات آماده‌سازی نمونه‌ها در سه روز با فواصل یک روز انجام شد و در هر دفعه یک رقم انتخاب شده و به طور متوسط برای هر تک نمونه آزمایش ۷ دقیقه وقت صرف شد. اندازه‌گیری ابعاد دانه‌ها به منظور به دست آوردن حجم و چغرمگی[1] و نیز برای ارتباط دادن پارامترهای مکانیکی به خواص فیزیکی می‌باشد.

۲-۲- روشها(انجام آزمایش بارگذاری فشاری)

برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی نخود از دو طرح آزمایشی استفاده شد. در طرح آزمایشی اول برای تعیین و بررسی خواص فیزیکی، پارامترهای مستقل شامل سه سطح رطوبت و سه رقم نخود می‌باشد. در طرح دوم که برای تعیین و بررسی خواص مکانیکی نخود است، پارامترهای مستقل عبارتند از: سه سطح رطوبت، دو جهت بارگذاری و سه رقم نخود.

در این تحقیق پس از اندازه‌گیری ابعاد دانه‌ها، به وسیلهٔ کولیس ۰/۰۲، دانه‌ها تحت آزمایش فشاری قرار گرفتند. برای این منظور، دانه‌های کامل و دست نخوردهٔ نخود بین دو صفحهٔ تخت فولادی تحت بارگذاری شبه استاتیک قرار گرفتند. سرعت بارگذاری برای نخود ۷ mm/min انتخاب شد. حجم محاسبه‌ای دانه برای به‌دست آوردن چغرمگی تعیین شده است. مساحت زیر منحنی (شکل ۲) به وسیلهٔ روش انتگرال ذوزنقه‌ای محاسبه شده و در محاسبهٔ انرژی گسیختگی و چغرمگی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۲ نمونهٔ منحنی" نیرو- تغییرشکل" حاصل از بارگذاری فشاری دانهٔ نخود

از آنجا که شکل دانه‌ها و سایر مواد کشاورزی گرانولی معمولاً نامنظم هستند، اندازه دانه‌ها را با قطر هندسی بیان می‌کنند. قطرهندسی را می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد[۹]:

$$d_G = (TWL)^{1/3} \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق T، W و L به عنوان ابعاد سه گانه دانه به ترتیب پهنا، عرض و طول دانه هستند که دو به دو بر هم عمودند (شکل ۱).

اگر حجم دانه را برابر حجم یک بیضی‌گون سه محوری با محورهای T, W, L در نظر گرفته شود به طوری که قطر کره محیطی بزرگترین محور بیضی(L) را داشته باشد ، آنگاه ضریب کرویت را می‌توان بصورت زیر تعریف کرد:

$$s_p = \frac{d_G}{L} \qquad (۲)$$

یکی دیگر از شاخص‌هایی که ممکن است برای توصیف اندازه مواد کشاورزی گرانولی اندازه‌گیری شود، حجم دانه V_s

[1]- Stiffness

Archive of SID
www.SID.ir

می‌باشد که در محاسبات خواص مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$V_s = \frac{\pi d_G^{\,3}}{6} \qquad (۳)$$

همان گونه که یاد شد، در این تحقیق از دو طرح آزمایشی برای بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی استفاده شد. طرح آزمایش اول مربوط به بررسی خواص فیزیکی نخود می‌باشد که به صورت فاکتوریل دو فاکتوره در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳۰ تکرار می‌باشد. طرح آزمایش دوم مربوط به بررسی خواص مکانیکی نخود است که به صورت فاکتوریل سه فاکتوره در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۱۰ تکرار می‌باشد. میانگین مقادیر و عملیات آماده‌سازی داده‌ها توسط نرم‌افزار Excel و تجزیه واریانس بوسیله نرم‌افزار Minitab و تجزیه رگرسیون توسط نرم‌افزار SPSS انجام گرفت در این تحقیق نیروی گسیختگی به عنوان نیروی آستانه لپگی تعریف شده است. به عبارت دیگر معیار گسیخته شدن دانه، مشاهده اولین آثار لپگی دانه هنگام بارگذاری مدنظر قرار گرفته است. پس نیروی آستانه لپگی، آن نیروی گسیختگی است که باعث تخریب دانه به صورت دو لپه‌ای در جهت‌های بارگذاری طولی یا عرضی می‌شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خواص فیزیکی نخود

جدول ۱ میانگین مقادیر ابعاد، حجم محاسبه‌ای، قطر هندسی و ضریب کرویت را برای سه رقم نخود در رطوبتهای مختلف نشان می‌دهد. محدودهٔ تغییرات ابعاد یعنی پهنا، عرض و طول به ترتیب ۹/۶–۶/۴۸، ۸/۸۴–۶/۴۴ و ۱۱/۳۵–۷/۱ میلی‌متر بدست آمد. میانگین مقادیر پهنا، عرض و طول و قطر هندسی دانه‌ها برای تمامی ارقام و رطوبت‌ها به ترتیب ۷/۷۵۲، ۷/۴۸، ۹/۵۴۸ و ۸/۲۰۱ میلی‌متر می‌باشد که با داده‌های کناک و همکاران [۳] مطابقت دارد. در این مورد حجم محاسبه شده ۴۸/۴ mm^3 بیشتر از مقدار ارائه شده توسط کناک و همکاران است که با توجه به متفاوت بودن ارقام و سطوح رطوبت دانه‌ها ،پدیده‌ای طبیعی است. میانگین قطر هندسی، ضریب کرویت و حجم دانه برای تمامی ارقام و رطوبتها به ترتیب ۸/۲۱mm ، ۸۶/۱ درصد و ۲۸۵/۴۰۸ mm^3 بدست آمد. میانگین ضریب کرویت و حجم دانه ارائه شده توسط کناک و همکاران به ترتیب ۸/۱۱mm ، ۷۸/۶ درصد و ۲۳۸ mm^3 می‌باشد. کرمانی برخی خواص فیزیکی نخود مراغه را تعیین کرد که برای مقایسه با مقادیر تحقیق حاضر در جدول ۲ آورده شده است. مشاهده می‌شود که میانگین ضریب کرویت در هر دو آزمایش تقریباً یکی است، ولی حجم دانه گزارش شده توسط کرمانی به اندازه ۶/۲ mm^3 بیشتر از حجم دانه آزمایش شده است[۴]. علت آن همان موارد ذکر شده در بالا می‌باشد. نتایج تجزیهٔ واریانس و مقایسه میانگینهای پارامترهای فیزیکی به ترتیب در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند. با افزایش رطوبت، قطر هندسی و حجم دانه افزایش می‌یابد، ولی تاثیر معنی‌داری بر ضریب کرویت ندارد.

جدول ۱ میانگین مقادیر برخی خواص فیزیکی ارقام نخود در رطوبت‌های مختلف

رقم	رطوبت	طول	عرض	ضخامت	قطر هندسی	کرویت	حجم
	w. b.	mm	mm	mm	mm	%	(mm^3)
بیونیز	٪۲۵	۹/۶۳	۷/۳۴	۷/۶۲	۸/۰۸	۸۴/۵۰	۲۷۷/۴۹
	٪۲۰	۹/۳۸	۷/۳۶	۷/۶۱	۸/۰۶	۸۴/۱۳	۲۷۹/۴۴
	٪۱۵	۹/۵۰	۷/۲۷	۷/۵۱	۸/۰۴	۸۴/۸۱	۲۷۵/۰۸
آی ال سی	٪۲۵	۹/۴۷	۷/۷۴	۷/۹۶	۸/۳۶	۸۸/۲۲	۳۰۸/۸۶
	٪۲۰	۹/۰۷	۷/۳۳	۷/۶۲	۷/۹۷	۸۷/۹۳	۲۶۷/۲۲
	٪۱۵	۹/۰۱	۷/۳۱	۷/۵۰	۷/۹۰	۸۷/۸۵	۲۵۸/۵۲
فیلیپس	٪۲۵	۱۰/۰۷	۷/۷۸	۸/۶۵	۸/۶۵	۸۶/۰۰	۲۸۲/۱۳
	٪۲۰	۹/۹۷	۷/۵۹	۷/۸۶	۸/۴۱	۸۴/۴۹	۳۱۲/۷۲
	٪۱۵	۹/۸۲	۷/۵۷	۷/۸۳	۸/۳۵	۸۵/۱۳	۳۰۷/۲۳

جدول ۲ میانگین مقادیر برخی خواص فیزیکی نخود مراغه [۴]

رقم	رطوبت	طول	عرض	پهنا	*قطر هندسی	کرویت	*حجم
	w. b.	mm	mm	mm	mm	%	(mm^3)
نخودمراغه	۷/۵	۹/۵۲	۷/۵۱	۷/۷۹	۸/۲۲۸	۸۶/۴۲۴	۲۹۱/۶۱۷

• محاسبه شده از میانگین مقادیر ابعاد دانه ها

جدول ۳ نتایج تجزیهٔ واریانس حجم دانه، ضریب کرویت و قطر هندسی(براساس مقدار P)

پارامترهای فیزیکی	حجم دانه	ضریب کرویت	قطر هندسی
رطوبت	۰/۰۱۳**	۰/۲۲۵ns	۰/۰۰۱**
رقم	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**
رطوبت * رقم	۰/۰۰۰**	۰/۱۴۹ ns	۰/۰۰۱**

****: بسیار معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، *: معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، ns : معنی‌دار نمی‌باشد**

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ٤ نتایج آزمون دانکن برای مقایسهٔ میانگین های خواص فیزیکی متأثر از رطوبت و رقم

	رطوبت			رقم		
	١٥درصد	٢٠درصد	٢٥درصد	آی ال سی	بیونیز	فیلیپس
حجم دانه	B * ٢٩٧/٥٨	B ٢٨٠/٢٧	A ٣٠١/٣٩	B ٢٨٠/١	B ٢٦٩/٥	A /٤٥ ٣١١
ضریب کرویت	A ٨٥/٩٥	A ٨٦/٢٤	A ٨٦/٤١	A ٨٨/٣٣	B ٨٥/٣	B ٨٥/٠٢
قطر هندسی	B ٨/١	B ٨/١	A ٨/٤٤	B ٨/١	B ٧/٩٩	A ٨/٥٣

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر گروه رطوبتی یا رقم، تفاوت معنی‌داری ندارند (α=٠/٠٥).

جدول ٥ میانگین مقادیر برخی خواص مکانیکی نخود

رقم	رطوبت w. b.	جهت بارگذاری	انرژی گسیختگی N-mm	تغییر شکل بیشینه mm	نیروی گسیختگی N	چغرمگی N.mm/mm³
بیونیز	٪٢٥	W	٥٤/٠٥	٢/٠٩	٦٢/٣٢	٠/١٩
	٪٢٥	L	٢٤/٦٧	١/٦٣	٢٨/٢٩	٠/١٠
	٪٢٠	W	٥١/٦٧	١/٦٠	٧١/٤٥	٠/١٨
	٪٢٠	L	٤١/٩٦	١/٧٢	٤٣/٦٦	٠/١٧
	٪١٥	W	٧٧/٥١	١/٢٤	١٥٦/٧٨	٠/٢٩
	٪١٥	L	١٥٦/٢٩	١/٨١	١٧٥/٦٣	٠/٥٧
آی ال سی	٪٢٥	W	٢٧/٩٥	١/٨٨	٣٩/٦٠	٠/١٠
	٪٢٥	L	٦٤/٠٦	٢/١٥	٥١/٤٠	٠/١٩
	٪٢٠	W	٣٣/٠٦	١/٢٢	٥١/٩٦	٠/١٢
	٪٢٠	L	٤٤/٧٥	١/٤٤	٤٦/٦٠	٠/١٥
	٪١٥	W	٩٨/٠٧	١/٤٠	١٥٤/٧٩	٠/٣٧
	٪١٥	L	١٠٤/٧٣	١/٦٠	١٣٥/٣١	٠/٤٥
فیلیپس	٪٢٥	W	٧٢/٣٦	١/٨٥	٩٦/٩٧	٠/٢٨
	٪٢٥	L	٣١/١٧	١/٦٥	٣٣/٤٠	٠/٠٩
	٪٢٠	W	٧٤/١٩	١/٧٧	٩٩/٠٤	٠/٢٤
	٪٢٠	L	٦١/٩٥	٢/٠٦	٦٤/٤٥	٠/٢٠
	٪١٥	W	١٠٦/٤٤	١/٢٤	١٨٦/١٧	٠/٣٥
	٪١٥	L	١٢٩/١٠	١/٨٥	١٣٨/٢٨	٠/٤٢

(T)بار گذاری در جهت پهنای دانه، (W) بار گذاری در جهت عرض دانه، (L) بارگذاری در جهت طول دانه

نتایج آزمون دانکن نشان داد که رقم فیلیپس نسبت به دو رقم دیگر دارای دانه‌هایی با ابعاد بزرگتر و در نتیجه قطر هندسی بزرگتر (٨/٤٦٨ mm) و حجم دانه بیشتر (٣٠٠/٣٩٦ mm^3) می‌باشد. رقم آی ال سی ضریب کرویت بیشتری (٨٨ درصد) نسبت به دو رقم دیگر دارد. کمترین ابعاد دانه و در نتیجه کمترین حجم دانه و میانگین قطر هندسی دانه برای رقم بیونیز بدست آمد که رقم محلی می‌باشد. بیشترین مقدار قطر هندسی برای رقم فیلیپس در سطح رطوبتی ٢٥ درصد بدست آمد. . نتایج آزمون اثرهای متقابل به روش توکی نشان داد که در رقم فیلیپس و رطوبت ٢٠ درصد ضریب کرویت کمترین می‌باشد و رقم آی ال سی در رطوبت ٢٥ درصد بیشترین افزایش حجم دانه را داشته است. این مطلب به توجه به جدول ١ بیشتر مشخص می‌شود. همچنین مشخص شد که در سطح رطوبتی ٢٥ درصد، قطر هندسی رقم آی ال سی بیشتر از رقم بیونیز است ، ولی در دو سطح رطوبتی دیگر تقریباً یکی است. با توجه به مطالب گفته شده مشخص می‌شود که رقم آی ال سی نسبت به رطوبت تغییرات ابعادی زیادی داشته است.

٣-٢- خواص مکانیکی

جدول ٥ میانگین مقادیر خواص مکانیکی (چغرمگی، نیرو، انرژی و تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی) را نشان می‌دهد. با توجه به محدوده نیروی اعمالی دستگاه بارگذاری و لپه نشدن دانه در بارگذاری در جهت پهنا، بحث در این جهت بارگذاری ضروری تشخیص داده نشد. زیرا هدف اصلی بدست آوردن کمترین نیرویی است که باعث دو لپه شدن نخود و بروز ضایعات می‌گردد.

تأثیر سه‌گانه رطوبت، رقم و جهت بارگذاری فقط بر انرژی گسیختگی معنی‌دار بوده، ولی تأثیر رطوبت بر میانگین مقادیر هر سه پارامتر در سطح ٠/٠١ معنی‌دار بود(جدول ٦). نتایج استخراج مدل خطی حاکی از عدم ارتباط خطی قوی(ضریب تعیین کم) بین خواص مکانیکی با پارامترهای فیزیکی و رطوبت می‌باشد و قابل توصیه نمی‌باشند. به همین دلیل مدل‌های توانی برای پیش‌بینی پارامترهای مکانیکی در نظر گرفته شدند.

نیروی گسیختگی و آستانهٔ لپگی

آزمایشات اولیه نشان داد که، بیشترین مقدار نیروی گسیختگی هنگام بارگذاری در جهت پهنای دانه می‌باشدکه با یافته‌های

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ٦ نتایج تجزیهٔ واریانس پارامترهای مکانیکی(براساس مقدار P)

پارامترها	نیروی گسیختگی	تغییر شکل بیشینه	چغرمگی	انرژی گسیختگی
رطوبت	٠/٠٠٠**	٠/٠٠٠**	٠/٠٠٠**	٠/٠٠٠**
جهت بارگذاری	٠/٠٠٠**	٠/٠٤٢*	٠/٨٢٧ns	٠/٩٨٥ ns
رقم	٠/٠٠١**	٠/٣٥٢ ns	٠/١٣٩ns	٠/٠٢١*
رطوبت * جهت بارگذاری	٠/٦٩٥ns	٠/٠١٩*	٠/٠٢٤*	٠/٠٨٣ns
رطوبت *رقم	٠/٥٨٣ns	٠/٠٠١**	٠/٧٥٧ns	٠/٥٣٢ns
جهت بارگذاری * رقم	٠/٠٠٥**	٠/٣٦٨ns	٠/٠٥٦ns	٠/٠٨ns
رقم * رطوبت * جهت بارگذاری	٠/٢٨٣ns	٠/٤٤٧ns	٠/١٧٦ns	٠/٠٤٦*

**: بسیار معنی‌دار در سطح ٠/٠١، *: معنی‌دار در سطح در ٠/٠٥، ns : معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ٧ نتایج آزمون دانکن برای مقایسهٔ میانگین های خواص مکانیکی متأثر از رطوبت و رقم

	رطوبت			رقم		
	١٥درصد	٢٠درصد	٢٥درصد	آی ال سی	بیونیز	فیلیپس
نیروی گسیختگی	A* ١٦٠/٤٥	B ٦٢/٥٢	B ٥٣/٣٣	B ٧٩/٩٤	B ٨٤/٣٨	A ١٠٤/٢١
تغییرشکل	B ١/٤٨	B ١/٦٤	A ١/٩٠	A ١/٦٢	A ١/٦٥	A ١/٧٦
چغرمگی	A ٠/٣٧	B ٠/٢	B ٠/١٦	A ٠/٢٣	A ٠/٢١	A ٠/٢٦
انرژی گسیختگی	A ١٠٨/١	B ٥٠/٤١	B ٤٧/٢٨	B ٦١/٨٦	B ٦٠/٨٦	A ٧٨/٠٣

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر گروه رطوبتی یا رقم، تفاوت معنی‌داری ندارند (α= ٠/٠٥).

جدول ٨ میانگین متغیرهای وابسته در جهت‌های بارگذاری

پارامترها	نیروی گسیختگی	تغییر شکل بیشینه	چغرمگی	انرژی گسیختگی
	N	mm	N.mm/mm^3	N.mm
بارگذاری طولی	٧٨/١٥	١/٧٧	٠/٢٤	٧٠/٧١
بارگذاری عرضی	١٠٦/٣٠	١/٥٩	٠/٢٣	٦٦/٣٨

جدول ٩ مدل‌های نمایی نیروی گسیختگی بر حسب رطوبت و قطر هندسی به تفکیک جهت بارگذاری

بارگذاری در جهت عرضی دانه	$F = M^{-2.24} D_G^{5.26}$, $R^2 = 0.99$
بارگذاری در جهت طول دانه	$F = M^{-2.58} D_G^{5.61}$, $R^2 = 0.98$

F= نیروی گسختگی (N)، M= میزان درصد رطوبت(برپایهٔ تر)، D_G= قطر هندسی(mm)

Archive of SID

www.SID.ir

خزایی [٦] کناک و همکاران[٣] همخوانی دارد. بطوری که در رطوبت ١٥درصد در این جهت، نیروی گسیختگی در برخی موارد بیش از ٣٠٠ نیوتن بود، ولی همان گونه که انتظار می‌رفت، بارگذاری در جهت پهنای دانه، باعث دو لپه شدن نخود نگردید. در حالیکه بارگذاری در دو جهت دیگر منجر به دولپه شدن دانه شد. بنابراین در تعیین نیروی «آستانه لپگی»، این دو جهت یعنی جهت‌های بارگذاری طولی و عرضی دانه مدنظر قرار گرفتند. همچنین در حین آزمایش مشخص شد که دانه‌های نامتقارن و بدشکل که پهلوی فرو رفته داشتند، نیروی گسیختگی کمتری داشتند. کمترین نیروی گسیختگی در رطوبت ٢٥درصد در جهت طولی برای رقم بیونیژ به دست آمد (جدول ٥). نتیجهٔ تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که اثرات رطوبت، رقم و جهت بارگذاری بر میانگین مقادیر نیروی گسیختگی در سطح ٠/٠١ معنی‌دار می‌باشد (جدول ٦). مقایسهٔ میانگین‌های نیروی گسیختگی به روش آزمون دانکن نشان داد که بیشترین نیروی گسیختگی متأثر از رطوبت و رقم، مربوط به اثر رطوبت در سطح ١٥درصد می‌باشد. کمترین نیروی گسیختگی متأثر از پارامترهای مذکور مربوط به اثر رطوبت در سطح ٢٥درصد می‌باشد که در حدود ٥٣ نیوتن می‌باشد. همچنین همانطور که در جدول ٧ آمده است، میانگین‌های نیروی گسیختگی بین ارقام مختلف از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین مقدار مربوط به رقم فیلیپس است که در کلاس A قرار دارد. میانگین‌های نیروی گسیختگی بین رقم بیونیژ و آی ال سی اختلاف معنی‌داری ندارند، ولی بین این دو رقم و رقم فیلیپس اختلاف معنی‌داری مشاهده می‌شود. این مطالب حکی از مقاوم بودن رقم فیلیپس نسبت به دو رقم دیگر است.

با توجه به آزمون‌های مختلف در بین پارامترهای موثر، سطح رطوبت تاثیر بیشتری بر نیروی گسیختگی داشته است. مقایسهٔ میانگین‌های نیروی گسیختگی به روش آزمون توکی نشان داد که مقدار نیروی گسیختگی در جهت بارگذاری عرضی (١٠٦/٣ نیوتن) بیش از بارگذاری طولی(٧٨/١٥ نیوتن) می‌باشد(جدول ٨). آزمون اثرهای متقابل رقم و جهت بارگذاری به روش توکی نیز نشان داد که بیشترین مقدار نیروی گسیختگی در رقم فیلیپس و جهت بارگذاری عرضی می‌باشد.

با توجه به اینکه اثر جهت بارگذاری بر مقدار نیروی گسیختگی بسیار معنی دار می‌باشد، مدل‌های رگرسیونی بایستی به تفکیک جهت بارگذاری تدوین شوند. مدل های رگرسیونی به تفکیک رقم، به علت نزدیک بودن ضرایب مدل‌ها نسبت به یکدیگر، آورده نشده‌اند. در جدول ٩ مدل‌های رگرسیونی حاصل از برازش نمایی نیروی گسیختگی بر حسب رطوبت و قطر هندسی به تفکیک جهت بارگذاری ارائه شده است. از این مدل‌ها می‌توان برای تخمین نیروی گسیختگی دانه بر حسب رطوبت و قطر هندسی استفاده کرد. ارتباط میان رطوبت، پارامترهای فیزیکی و خواص مکانیکی طی مدل‌های دیگری در پیوست آورده شده‌اند.

بطور کلی با توجه به ابعاد ارقام و قطر هندسی آنها مشخص شد که دانه‌های درشت‌تر، تحمل بیشتری به تخریب و دولپه‌ای شدن دارند. در چند نمونه‌ای که در رطوبت ١٥درصد و جهت‌های طولی و عرضی در حین آزمایش گسیخته نشدند، ابعاد بزرگتری داشتند.

تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی

در رطوبت‌های پایین، نخود تردی بیشتری دارد و با افزایش رطوبت، شکل‌پذیری نخود بالا می‌رود و در نتیجه تحت بار وارده بیشتر تغییر شکل می‌دهد. بیشترین تغییر شکل در رطوبت ٢٥درصد و بارگذاری در جهت طول(١/٧٧ میلی‌متر) و پهنا(١/٥٩ میلی‌متر) می‌باشد (جدول ٨). تأثیر همزمان رطوبت و جهت بارگذاری بر میزان تغییر شکل دارای روند خاصی نیست. بطوری که کمترین تغییرشکل در رطوبت ٢٠درصد و در جهت بارگذاری عرضی دانه اتفاق افتاد. همان گونه که در جدول ٦ آمده است، رطوبت بر مقدار تغییرشکل تأثیر معنی‌دار (α=٠/٠١) دارد. اثر متقابل رطوبت و رقم بر میانگین تغییر شکل بسیار معنی‌دار می‌باشد. به طوری که در رطوبت ٢٥ درصد و رقم آی ال سی میزان تغییر شکل بیشترین بود. همانطور هم که در قسمت خواص فیزیکی اشاره شد در این اثر متقابل تغییر حجم ناشی از اثر رطوبت بیشترین مقدار بود. مقدار تغییرشکل با رطوبت رابطهٔ مستقیم دارد، یعنی با افزایش رطوبت تغییرشکل افزایش می‌یابد. مقایسهٔ میانگین‌های تغییرشکل بیشینه به روش دانکن در جدول ٧ موید همین مطلب است. نکتهٔ قابل توجه این است که تغییرات میانگین‌های تغییرشکل و نیزوی گسیختگی موثر از رطوبت(و همینطور جهت بارگذاری) برعکس هم می‌باشند. این با یافته‌های اکثر محققان مطابقت دارد[٣، ٦و ٧].

چغرمگی (سفتی دانه) و انرژی گسیختگی

نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که مقدار چغرمگی و انرژی گسیختگی با رطوبت رابطهٔ معکوس دارد، بطوری که با افزایش رطوبت مقدار چغرمگی و انرژی گسیختگی کاهش می‌یابد (جدول ٥و٧). لیکن این مسئله در همهٔ موارد صادق نیست و مانند تحقیقات مشابه در زمینهٔ دیگر محصولات کشاورزی با افزایش رطوبت، به انرژی بیشتری برای تخریب دانه (و نیز چغرمگی)نیاز

Archive of SID

www.SID.ir

خواهد بود[٦]. تعریفهایی که از مساحت زیر منحنی نیرو-تغییر شکل (یا تنش-کرنش) بدست می‌آیند. برای سنجش کیفیت خواص بافت مواد غذایی و ارزیابی خواص شکست مفید می‌باشد[٧ و ١١]. چغرمگی، سفت بودن مواد در واحد حجم را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، چغرمگی کار مورد نیاز در واحد حجم برای تخریب مواد می‌باشد. تغییرات چغرمگی و انرژی گسیختگی تقریبا مشابه هم می‌باشند. برای مواد ترد مثل دانه‌های خشک و بذرها، با افزایش رطوبت انرژی مورد نیاز شکست افزایش می‌یابد[٧ و١٢]. اما برای مواد نرم شاید این مطلب صادق نباشد. در این آزمایش مشخص شد که با افزایش رطوبت، انرژی گسیختگی کاهش می‌یابد. عمده دلایل متناقض بودن نتایج این آزمایش با یافته‌های برخی محققین عبارت است از: زیاد بودن سطوح رطوبتی و به دنبال آن تغییر بافت دانه و تعریف معیار گسیختگی که لپه شدن دانه می‌باشد. به طور کلی تاثیر رطوبت بر شاخصهای حاصل از زیر منحنی نیرو-تغییر شکل(یا تنش-کرنش) با توجه به موارد ذیل متفاوت باشد. معیار شکست، سطوح رطوبت، پتانسیل رطوبتی مواد، نوع و جنس نمونه، تردی و نرمی، شرایط آماده‌سازی نمونه، ارقام مختلف، روش آزمایش، دستگاه آزمایش و عوامل ناشناخته.

کمترین مقدار چغرمگی مربوط به رقم آی ال سی در رطوبت ٢٥درصد و بیشترین مقدار چغرمگی نیز برای رقم بیونیز در رطوبت ١٥درصد و در جهت بارگذاری طولی دانه مشاهده گردید.

مقادیر ارائه شده چغرمگی در جدول ٥ با مقادیر واقعی کمی تفاوت دارد، زیرا حجم دانه‌ها محاسبه‌ای بوده است (با فرض کروی بودن دانهٔ نخود از معادلهٔ حجم کره استفاده شده است).

کمینه و بیشینه انرژی لازم برای تخریب دانه نخود(انرژی گسیختگی یا همان مساحت زیر منحنی) به ترتیب ٢٤/٦٦٧ میلی‌ژول، در جهت بارگذاری طولی ودر رطوبت ٢٥ درصد و ١٥٦/٢٨٥٧ میلی‌ژول ، درجهت بارگذاری طولی و رطوبت ١٥ درصد بدست آمد(جدول ٥). همان گونه که در جدول ٦ آمده است، رطوبت بر میانگین مقادیر چغرمگی و انرژی گسیختگی اثر معنی‌داری در سطح ٠/٠١ دارد، بطوری که با افزایش رطوبت چغرمگی و انرژی گسیختگی کاهش می یابد(جدول ٧). ضریب تعیین تمامی مدل‌های رگرسیونی بدست آمده برای چغرمگی کمتر از ٩٠درصد بودند. این مدل‌ها در پیوست آورده شده است. در جدول ٧ مقایسهٔ میانگین‌های چغرمگی و انرژی گسیختگی به روش آزمون دانکن آورده شده است. نکتهٔ قابل توجه این است که تغییرات میانگین‌های چغرمگی و انرژی گسیختگی موثر از رطوبت شبیه به یکدیگر می‌باشند، ولی در مورد رقم این‌گونه نیست. احتمال می‌رود این ناهماهنگی ناشی از متفاوت بودن ابعاد و خصوصیات بافت ارقام باشد. منحنیهای رسم شده برای این دو متغیر متاثر از پارامترهای مستقل تقریباً شبیه هم می‌باشند.

٤- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصله از تحلیل خواص فیزیکی، رقم آی ال سی پتانسیل زیادی برای افزایش حجم دانه در اثر افزایش رطوبت دارد. علارغم اینکه این رقم ضریب کرویت بیشتری نسبت به دو رقم دیگر دارد. ابعاد دانه‌های رقم فیلیپس نسبت به دو رقم دیگر بزرگتر بوده در نتیجه دارای قطر هندسی و حجم دانه بیشتری می‌باشد.

بر اساس نتایج به دست آمده، رطوبت تأثیر بسیار معنی‌داری بر خواص مکانیکی دانه نخود دارد. با افزایش رطوبت ، نیروی گسیختگی کاهش، انرژی شکست و چغرمگی، تغییر شکل افزایش می‌یابند. در همین راستا تأثیر رقم نخود و جهت قرارگیری دانه فقط بر نیروی گسیختگی معنی‌دار است. ترتیب صعودی نیروی مورد نیاز برای تخریب دانه در جهتهای مختلف بارگذاری به صورت پهنای ، عرضی و طولی دانه می‌باشد.

اگر نیروی گسیختگی و انرژی گسیختگی را به عنوان مبنایی برای لپه شدن در نظر گرفته شود، با افزایش رطوبت دانه میزان ضایعات به صورت لپه شدن افزایش می‌یابد. بدین ترتیب توصیه می‌شود که در مراحل پس از برداشت تا حد ممکن رطوبت دانه در سطح پایین‌تری قرار گیرد که در اینصورت احتمال ضایعات لپگی کاهش می یابد. البته احتمال افزایش ضایعات به صورتهای دیگر افزایش می‌یابد. با توجه به تأثیر کاملاً معنی دار رطوبت بر کلیهٔ پارامترهای مکانیکی و موارد مطرح شده، باید میزان رطوبت حفظ دانه در سطح بهینه‌ای باشد. در این حالت انتخاب رقم مقاوم به گسیختگی نیز حائز اهمیت می‌باشد که باید در برنامهٔ اصلاح ارقام مد نظر قرار گیرد. البته لازم است صورتهای دیگر ضایعات نیز مدنظر قرار گیرد. زیرا ضایعات به صورتهای دیگر گسیختگی در رطوبتهای پایین اتفاق می‌افتد که عکس یافته‌های این تحقیق است.

٥- توصیه و پیشنهاد

با توجه به نتایج حاصل شده مشخص می‌شود که باید مطالعات بیشتری در مورد چگونگی بروز انواع ضایعات صورت گیرد. با

Archive of SID
www.SID.ir

توجه به شرایط کاری و تعاریفهای متفاوت از ضایعات، نتایج تحقیقات مختلف برای بررسی انواع ضایعات، متفاوت از هم می‌باشد. اگر منظور از ضایعات لپه شدن دانه است، حفظ دانه در رطوبتهای پایین توصیه می‌شود. زیرا در رطوبت‌های بالاتر دانهٔ نخود آنقدر نرم می‌شود که به راحتی با دست دولپه می‌شود. البته نیاز است آزمایشات بیشتری انجام گیرد.

٦- سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات و مساعدت آقای مهندس جلال جلیلیان در تهیهٔ ارقام نخود و آقای محمدرضا آخوند در تحلیل آماری سپاسگزاری می‌شود.

٧- منابع

[١] مجنون حسینی، ن (١٣٧٧). حبوبات در ایران. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران. ٢٤٠ ص.

[2] Bussan, A.J., Miller, P., Riesselman, J. & Trainor, M. (2001). Chickpea in 2001: Big Money, Big Wreckada Potential, Montana state University [online], http: // scarab. msu. Montana. Edu/extension/MTPIAP- chick-Garb. htm.

[3] Konak, M., Carman, K. and Aydin, C. (2002). Physical properties of chickpea seeds. Biosystems engineering. 82(1), 73-78.

[٤] کرمانی، ع. (١٣٧٧). تعیین میزان اصطکاک دانهٔ نخود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.

[٥] آقا گل‌زاده، ح.، طباطبایی‌فر، س ا. و مبلی، ح. (١٣٨١). طراحی و ساخت و ارزیابی ماشین بوجاری دوم و درجه‌بند نخود. خلاصه مقالات دومین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون.

[٦] خزایی، ج.(١٣٨٢). تعین نیروی چیدن غلاف نخود و مقاومت مکانیکی آن به کوبیدن. رساله دکترا. گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی. دانشگاه تهران.

[7] Stroshine, R. & Hamann, D. (1994). Physical properties of agricultural materials and food products (1st ed., pp. 29-30 & 106-112). West Lafayette, Indiana.

[8] Praveen, C.B. & Irudayaraj, J. (1995). Mechanical strength and rheological behavior of barely kernels. Int. J. Food Science and Technology. 30:606-623.

[9] Gopta, R.K. & Das. S. (1996). Physical properties of sunflower seeds. Journal of Agricultural Engineering Research. 66, 1-8.

[10] ASAE, (1999). Moisture Measurement - unground grain and seeds. American Society of Agricultural Engineers, S 352.2.

[11] Mohsenin, N. N. (1978). Physical Properties of the Plant and Animal Materials. 1st end. Gordon and Breach, New York, N. Y.

[12] Allen, C.A.W. & Watts, K.C. (1997). Properties of cowpea (*var. Minica Beans*). Journal of Agricultural Engineering Research, 68, 159-167.

Archive of SID

www.SID.ir