تحلیل تنش استاتیکی پوسته تخم‌مرغ با استفاده از روش المان محدود

حسن حاجی‌نیا[1]، هیوا گل‌پیرا[2] ، علی نیازی[3]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (بیوسیستم)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛h.hajinia@agri.uok.ac.ir
[2] استادیار گروه مهندسی مکانیک (بیوسیستم)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ H.golpira@uok.ac.ir
[3]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (بیوسیستم)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛a.niazy@agri.uok.ac.ir

چکیده

هدف از اجرای این تحقیق تحلیل تنش ناشی از بار استاتیکی وارد بر پوسته تخم‌مرغ با استفاده از روش المان محدود است. خواص فیزیکی- مکانیکی شامل اندازه، وزن، فاکتور کرویت، تغییر شکل و تنش نهایی پوسته تخم‌مرغ تحت بار فشاری پیوسته اندازه‌گیری گردید. بدین منظور تخم‌مرغ بین دو صفحه فلزی تحت بار پیوسته قرار گرفت و مقدار بار لازم برای شکست پوسته محاسبه شد. بعد از اجرای آزمایش مدل سه‌بعدی تخم‌مرغ در نرم‌افزار Ansys15 طراحی شد. مقدار بار فشاری ۷۵ نیوتن به دو انتهای پوسته تخم‌مرغ وارد شد و تغییرات نرخ بار و رابطه تنش- کرنش بررسی گردید. هر چه تخم‌مرغ کروی‌تر باشد بار بیشتری تحمل می‌کند. عامل شکست پوسته تخم‌مرغ تنش‌های فشاری مساوی و خلاف جهت هم می‌باشد. بیشترین نیروی لازم برای شکست ۷۵ نیوتن بود. فاکتور کرویت نیز عاملی است جهت تعیین ظرفیت بار که نتایج نشان داد بین فاکتور کرویت و ظرفیت بار همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده گردید.

کلمات کلیدی: اجزا محدود، تغییر شکل، تنش، کرنش، نیرو

Static Stress Analysis of Egg Shell Using Finite

Hassan Hajinia[1], Hiwa Golpira[2] , Ali Niazy[3]

[1] MSc Student, Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Kurdistan University;
h.hajinia@agri.uok.ac.ir
[2]Assistant professor, Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Kurdistan University;
H.golpira@uok.ac.ir
[3]MSc Student, Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Kurdistan University;
a.niazy@agri.uok.ac.ir

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the stress induced by static load on egg shells using finite element method. Physical-mechanical properties including size, weight, sphericity factor, deformation and final tension of egg shell under continuous pressure were measured. For this purpose, eggs were placed between two metal plates under continuous load and the amount of load required for shell fracture was calculated. After running the triple egg model testing, Ansys15 software was designed. The amount of compressive pressure of 75 N was applied to the two ends of the egg shell and changes in the load rate and stress-strain relationship were investigated. The more egg the spherical is, the more tolerant it will last. Fracture factor of egg shell is equal pressure stresses. The most needed force was the failure of 75N. sphericity factor is also a factor in determining the load capacity which results showed a positive and significant correlation between sphericity factor and load capacity.

Keywords: Deformation, Finite element, Force, Stress, Strain

۱- حسن حاجی‌نیا، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک (بیوسیستم)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛h.hajinia@agri.uok.ac.ir
۰۹۳۸۸۳۴۱۱۵۵

۱- مقدمه

تخم‌مرغ یک غذای مهم و مغذی در رژیم غذایی روزانه انسان می‌باشد و به‌عنوان منبع غنی از پروتئین محسوب می‌شود (Liu et al., 2007). به همین دلیل انجام هر نوع آزمایشی به‌منظور اطمینان از سالم بودن آن ضروری است. تولید تخم‌مرغ‌هایی که کیفیت پوسته خوب و کیفیت درونی مناسب داشته باشند برای صنعت جهانی پرورش طیور، اهمیت اقتصادی به‌سزایی دارد. شکستگی پوسته تخم‌مرغ‌های خوراکی و جوجه‌کشی، صنعت تولید تخم‌مرغ را همواره با هزینه‌های فراوانی مواجه می‌سازد (Devegowda and Ravikiran, 2008).

نیروهای وارد بر پوسته تخم‌مرغ در مراحل جمع‌آوری، درجه‌بندی، بسته‌بندی و حمل و نقل از عوامل مکانیکی مهم در ایجاد شکستگی پوسته به‌شمار می‌آیند (Devegowda and Ravikiran, 2008). آسیب مکانیکی به پوسته تخم‌مرغ در اثر تنش‌های تماسی تحت بارهای استاتیکی، شبه‌استاتیکی و ضربه‌ای ایجاد می‌شود و باعث کاهش کیفیت محصول می‌شود. حالت تنش و کرنش تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی که به طبیعت و رفتار مکانیکی مواد ارتباط داده می‌شود؛ به‌عنوان اولین قدم در کمی‌کردن مشخصه‌های محصولات کشاورزی و استفاده از این اطلاعات برای کاهش صدمات مکانیکی محسوب می‌شود.

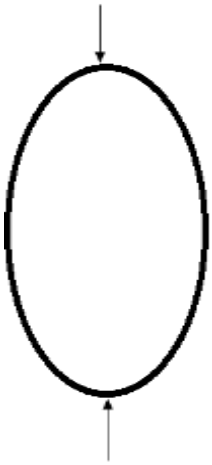
نسبت پوآسون و مدول الاستیسیته دو خاصیت بنیادی جامدات الاستیک و جامدات ویسکوالاستیک هستند که در حل تمامی مسائل تماسی شامل محاسبه تنش- کرنش سطوح تماس و تغییر شکل الاستیک استفاده می‌شود. از طرفی این خواص امکان پیشگویی تغییر رفتار، نیرو، شکل محصولات کشاورزی را فراهم کرده و در طراحی تجهیزات فرآوری این محصولات نقش مهمی ایفا می‌کنند (Arnold and Robert1969; Kang et al., 1995). با توجه به کروی بودن شکل تخم‌مرغ برای تعیین توزیع تنش و کرنش در آن‌ها از مدل‌سازی عددی همچون المان محدود (Finite element method) استفاده شده است (Bajema et al., 1998; Miranda et al., 2008). مدل‌سازی اجزاء محدود روشی بسیار مؤثر برای کمک به بررسی سیستم‌های پیچیده است. روش اجزاء محدود توانایی حل مسائل غیرخطی از قبیل تغییر شکل هندسی جسم و چگونگی تماس اجسام را دارد (Sadmia et al., 2008). روش المان محدود روشی عددی است که می‌توان آن را برای حل مسائل پیچیده مهندسی و تحلیلی تنش‌های وارد به جسم بارگذاری شده استفاده کرد. مسائلی که با روش‌های معمولی تحلیل قابل حل نیست و یا مستلزم انجام آزمایش‌های پرهزینه‌اند، با استفاده از این روش حل می‌شوند (Rao 2005). Khodabakhshian et al. (2015) با ارائه مدلی بر پایه FEM خواص مکانیکی بذر کدو در بارگذاری فشاری بین دو صفحه موازی را مطالعه کردند. این محققان گزارش کردند که نتایج آزمون‌های تجربی با مدل المان محدود تطابق خوبی دارند. بر اساس پژوهش Tung et al. (1969) که به روش Reissner اقدام کردند، مقدار مدول الاستیسیته تخم‌مرغ برابر ۴۶۰۰۰ مگا پاسکال و ضریب پواسون آن ۰/۲۵ بوده است. بر اساس تحقیق MacLeod et al. (1993) مقدار مدول الاستیسیته تخم‌مرغ برابر ۵۵۰۰۰ مگا پاسکال، و بر اساس تحقیق Bain et al. (1992) مقدار مدول الاستیسیته برابر ۳۰۰۰۰ مگا پاسکال گزارش شده است. Dehghanzadeh et al. (2012) مقدار مدول الاستیسیته برای المان تخم‌مرغ ۴۷۰۰۰ مگا پاسکال گزارش دادند.

هدف از اجرای این پژوهش، تعیین نیروی لازم برای شکست پوسته تخم‌مرغ است. این روش در طراحی جعبه‌های بسته‌بندی تخم‌مرغ اهمیت دارد. روش مدل‌سازی المان محدود کمک می‌کند تا تنش و نیروی لازم برای شکست پوسته تخم‌مرغ محاسبه گردد.

۲- بخش مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعدادی تخم‌مرغ به‌صورت تصادفی و با ابعاد و اندازه‌های مختلف، انتخاب گردید. در ابتدا خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های تخم‌مرغ و بار گسترده بر حسب نیوتن در آزمایشگاه خواص مواد دانشگاه کردستان اندازه‌گیری شد. برای تعیین خواص فیزیکی تخم‌مرغ از کولیس و ترازوی دیجیتال استفاده شد. بعد از تعیین خواص فیزیکی، مقاومت فشاری، حداکثر و حداقل نیروی لازم برای شکست پوسته تخم‌مرغ تعیین گردید.

اولین مرحله در تحلیل اجزای محدود مش‌بندی می‌باشد. برای مش‌بندی مدل تخم‌مرغ را به تعداد ۲۲۶۵۵ گره و تعداد ۱۱۳۶۹ المان تقسیم شد. در نهایت در راستای محور Y نیروی فشاری به اندازه ۷۵ نیوتن به نمونه مورد نظر اعمال شد و تنش‌های آن مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱).



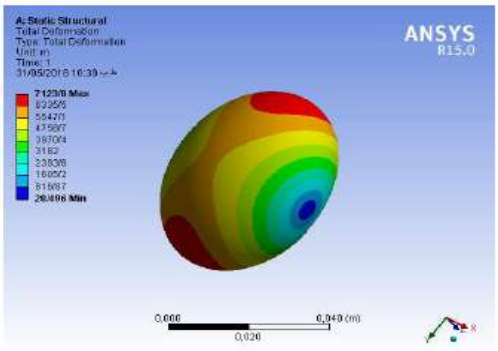
شکل ۱- نحوه اعمال نیرو بر پوسته تخم‌مرغ.

Figure 1. Forcing on egg shall.

جدول ۱- مش‌بندی پوسته تخم‌مرغ.

Table 1. Meshing of egg shall.

Nodes	22655
Elements	11396
Mesh Metric	None



شکل ۲- نمونه تنش ۷۵ نیوتن.

Figure 2. Stress 75 Newton.

جدول ۲- مدول الاستیسته و ضریب پواسون (Dehghanzadeh et al., 2012).

Table 2. Modulus of elasticity Poisson,s Ratio (Dehghanzadeh et al., 2012).

Temperature (C)	Young,s Modulus (Pa)	Poisson,s Ratio	Bulk Modulus (Pa)	Shear Modulus (Pa)
	4.7e+010	0.25	3.1333e+010	1.88e+010

برای محاسبه فاکتور کرویت، ابتدا طول، عرض و حجم نمونه تعیین شد و سپس با استفاده از معادله ۱ فاکتور کرویت محاسبه گردید.

معادله ۱

$$\phi=\frac{LWT^{\frac{1}{3}}}{L}$$

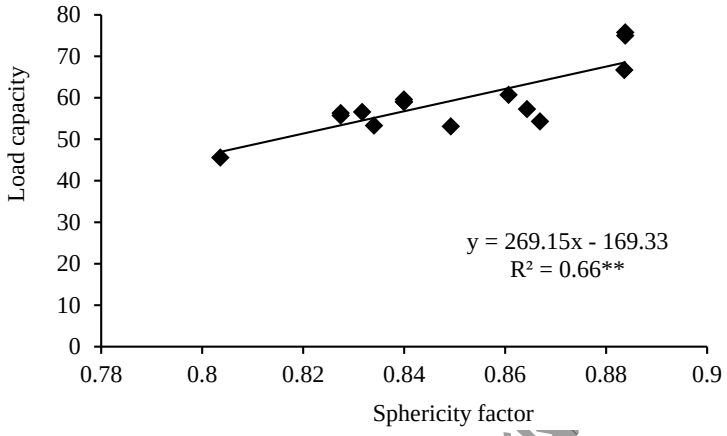
که در این رابطه، V حجم نمونه (سانتی‌متر مکعب)، L طول نمونه (میلی‌متر) و W عرض نمونه (میلی‌متر) می‌باشد.

برای مدل‌سازی و بارگذاری تخم‌مرغ از برنامه ANSYS-15 استفاده شد. برای رسم نمودار تنش-کرنش از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

رابطه بین مقدار کرویت با ظرفیت بار در شکل ۳ نشان داده شده است. بین فاکتور کرویت و ظرفیت بار همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده گردید، به‌طوری‌که با افزایش کرویت مقدار ظرفیت بار افزایش یافت (شکل ۳).

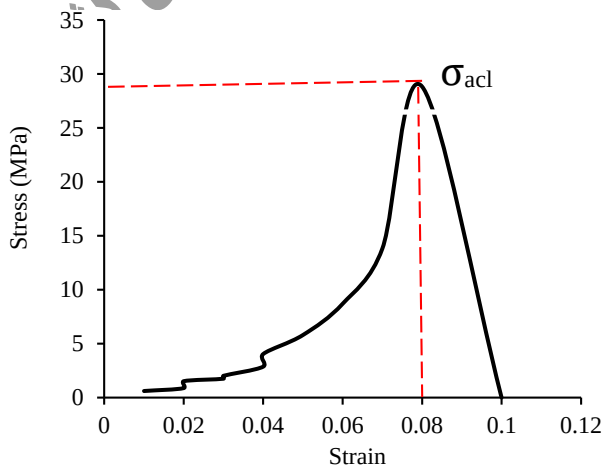
این نتایج با نتایج Dehghanzade et al. (2012) مطابقت دارد. این محققان گزارش دادند حداکثر میزان بار اعمال شده بر سطح کوچکی از نوک تخم‌مرغ بر اساس تکیه‌گاه ایجاد شده برابر ۷۵۰ نیوتن می‌باشد.



شکل ۳- رابطه بین فاکتور کرویت و ظرفیت بار.

Figure 3. Relation between sphericity factor with load capacity.

هنگامی که مواد مختلف تحت بارگذاری استاتیکی قرار می‌گیرند، مفهومی به‌نام تنش و کرنش معنا پیدا می‌کند. تنش عبارت است از حاصل تقسیم نیرو بر واحد سطح و کرنش نسبت تغییرات طول نمونه به طول اولیه آن است. شکل ۴ نمونه‌ای از نمودار تنش-کرنش برای یک تخم‌مرغ را نشان می‌دهد همان‌طور که مشاهده می شود نیرو شکست با افزایش فشار بیشتر می‌شود. بیشترین تنش در محل تماس صفحه بارگذاری و به مقدار ۳۰ مگاپاسکال به‌دست آمد (شکل ۴).

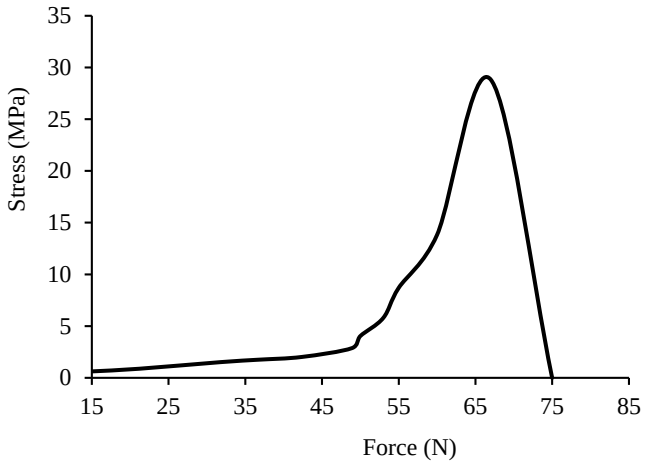


شکل ۴- منحنی تنش-کرنش در آزمایش بار استاتیکی تخم‌مرغ.

Figure 4. stress-strain curve of egg under static test.

اعمال نیرو از دو طرف باعث ایجاد تنش‌های کششی و نیروهای مداری می‌گردد با توجه به ترد بودن پوسته آهکی که در کشش مقاومت کافی ندارد باعث ترک‌خوردگی و شکست می‌شود درحالی‌که نیروهای فشاری به دلیل فرم و شکل قوسی دو طرفه توسط مصالح پوسته به‌خوبی را

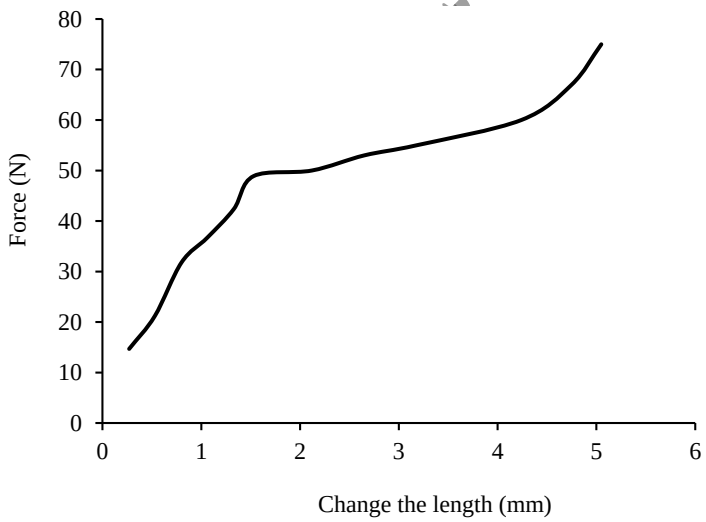
می‌توان تا ۷۵ نیوتن بار را تحمل کند (شکل ۵).



شکل ۵- منحنی نیرو- تنش در آزمایش استاتیکی تخم‌مرغ.

Figure 5. Typical sample of force-stress curve of egg under static test.

به منظور ارزیابی مدل المان محدود می‌توان از مقایسه نمودارهای نیرو- تغییر شکل استفاده کرد (Emadi, 2015). منحنی نیرو تغییر شکل در هر بارگذاری استاتیکی غیرخطی است. به‌طوری‌که ابتدا شیب آن کم و سپس شیب منحنی تا نقطه شکست افزایش می‌یابد (شکل ۶).



شکل ۶- نمونه‌ای از منحنی نیرو-تغییرات در آزمایش استاتیکی تخم‌مرغ.

Figure 6. Typical sample of force-change of egg under static test.

۴- نتیجه‌گیری

فرم و شکل هندسی تخم‌مرغ نقش اساسی در تحمل بار استاتیکی دارد. اعمال نیرو از دو طرف باعث ایجاد تنش‌های فشاری یا همان نیروی مداری (Sy) در مدل می‌گردد. با توجه به تردد بودن پوسته در تنش فشاری مقاومت چندانی ندارد. باعث ترک‌خوردگی و شکست می‌گردد. بررسی تنش‌ها در نمونه‌های با بار متفاوت نشان می‌دهد که در نمونه با بار فشاری کمتر پوسته کمتر دچار شکست می‌شود و هرچه بار بیشتر باشد این ترک‌خوردگی و شکست بیشتر بدیهی است و در نتیجه برای ذخیره‌سازی و بسته‌بندی تخم‌مرغ باید بار کمتر از ۷۵ نیوتن باشد.

۵- مراجع

1. Arnold, P. C., & Robert, A. (1969). Fundamental aspects of load deformation behaviour of wheat grains. *Trans. ASAE*, 12, 104-108.
2. Bain, M. M. (1992). *Eggshell strength: a mechanical ultra strucutral evaluation*. Ph. D. Thesis,University of Glasgow, Scotland.
3. Bain, M. M., Solomon, S. E., & Hancock, J. W. (1993). *Failure Mechanisms of Hens' Eggs*, Department of Mechanical Engineering, University of Glasgow, UK, Department of Veterinary Anatomy, University of Glasgow, UK.
4. Bajema, R. W., Hyde, G. M., & Peterson. K. (1998). Instrumentation design for dynamic axial compression of cylindrical tissue samples. *Transactions of the ASAE*, 41: 747-754.
5. Dehghanzadeh, H., Salajegheh, E., & Hedayat, A. A. (2012). Expression of egg compressive strength as shell structure. The 8th Symposium on Advances in Science and Technology (8thSASTech), Mashhad, Iran.
6. Devegowda, G., & Ravikiran, D. (2008). Mycotoxins and eggshell quality: cracking the problem. *World Mycotoxin Journal*, 1(2): 203-208.
7. Kang, Y. S., Spilman, C. K., & Chung, G. D. (1995). Mechanical properties of wheat. *America Society of Agricultural and Biological Engineers*, 38: 573-578.
8. Khodabakhshian, R., & Emadi, B. (2015). Development of a FEM model to determine mechanical behaviour of pumpkin seed. *International Journal of Food Properties*, 18(2), 231-240.
9. Liu, H., Xu, X. M., & Guo, S. D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low fat mayonnaise with different fat mimetics. *Journal of Food Science and Technology*, 40: 946-954. MacLeod, N.,
10. Miranda, P., Pajares, A., & Guiberteau, F. (2008). Finite element modeling as a tool for predicting the fracture behavior of robocast scaffolds. *Acta Biomaterialia*, 4(6), 1715-1724.
11. Rao, S. S. (2005). Finite element analysis in engineering the Pergamon Press, Oxford.
12. Sadrnia, H., Rajabipour, A., Jafari, A., Javadi, A., Mostofi, Y., Kafashan, J., Dintwa, E., & De Baerdemaeker, J. (2008). Internal bruising prediction in watermelon compression using nonlinear models. Journal of Food Engineering, 86: 272-280.
13. Tung, M. A., Staley, L. M., & Richards, J. F. (1969). Estimation of young's modulus and failure stresses in the hen's egg sgell. *Canadian Agricultural engineering*, 11(1).

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