اثر رطوبت، سرعت و جهت بارگذاری بر روی خواص مکانیکی دانه نخود (رقم آزاد)

لطیف روغنی‌پور[1*]، عبداله گل‌محمدی[2]، ترحم مصری گندیشمن[2]، امیرحسین افکاری[2]،
1و2- به ترتیب **دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.**

E- mail: roghani.latif@yahoo.com *

چکیده

خواص مکانیکی محصولات کشاورزی یکی از مهم‌ترین خواص مورد استفاده در طراحی فرایندها و ماشین‌های کشاورزی است. در این بین نیروهای اعمالی و تغییر شکل مواد در اثر این نیروها جزء مهم‌ترین عمل و عکس العمل بین ماشین و محصول محسوب می‌شود. در این تحقیق که در آزمایشگاه بیوفیزیک دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد، خواص مکانیکی دانه نخود رقم آزاد تحت آزمون‌های فشاری شبه استاتیک در سطوح مختلف رطوبتی در محدوده 11٪ تا 26٪ بر پایه تر مورد ارزیابی قرار گرفت. نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی گسیختگی، تغییر شکل در نقطه گسیختگی و چغرمگی دانه نخود در چهار سطح رطوبتی از 11٪ تا 26٪ بر پایه تر، سرعت بارگذاری در سه سطح از 2 تا 8 میلی‌متر بر ثانیه و در دو جهت بارگذاری (موازی و عمود بر لپه) اندازه‌گیری و ثبت شد. نتایج نشان داد که اثر رطوبت و جهت بر تمام خواص مکانیکی معنی دار بود. در حالی که اثر سرعت بارگذاری بر کلیه خواص مکانیکی غیر معنی‌دار می‌باشد. با افزایش محتوی رطوبت میانگین نیروی لازم برای گسیختگی از 492 به 97 نیوتن کاهش یافت. بیشترین و کمترین نیروی گسیختگی دانه، به ترتیب 801 و 28 نیوتن به ترتیب در رطوبت‌های 11٪ و 26٪ به دست آمد. همچنین با افزایش رطوبت، مقدار انرژی گسیختگی کاهش یافت. بیشترین میانگین انرژی گسیختگی مربوط به سطح رطوبتی 11٪ و برابر با 285 ژول بدست آمد. همچنین محاسبات نشان داد که با افزایش رطوبت مقدار میانگین چغرمگی کاهش و تغییر شکل در نقطه گسیختگی افزایش می یابد. نتایج نشان داد، بیشترین آسیب نخود مربوط به حالت لپه ای شدن است که این حالت در رطوبت 26٪ و وقتی اتفاق می‌افتد که نیرو در جهت موازی بر لپه اعمال گردد.

کلمات کلیدی: نخود، خواص مکانیکی، محتوی رطوبت، انرژی گسیختگی، بارگذاری شبه استاتیک

مقدمه

پس از غلات، دومین منبع غذایی بشر حبوبات می‌باشد. حبوبات گیاهانی از خانواده بقولات (*Fabaceae*) و زیر خانواده پروانه آسایان (*papilionoideae*) می‌باشد (کوچکی 1381). نخود معمولی (*Chick pea*) از گونه‌های جنس *Cicer* است. به طور کلی نخودهای زراعی از نظر شکل دانه به دو تیپ مختلف تقسیم‌بندی می‌نمایند. تیپ اول به نام تیپ کابلی که دارای دانه‌های درشت (وزن یک صد دانه بیش از 26 گرم) کم و بیش کروی و کرم رنگ بوده و تیپ دوم به نام دسی دارای دانه‌های کوچک‌تر (وزن یک صد دانه 26-17 گرم) با اشکال نا منظم و رنگ-های مختلف می‌باشد (صادقی‌پور 1380). در ایران طبق آمار سال زراعی 88-1387 از بین 869 هزار هکتار اراضی اختصاص یافته به حبوبات، 48/ 64 درصد آن متعلق به نخود می‌باشد و با سهم تولید 209 هزار تن در رتبه اول گروه حبوبات قرار گرفته است [بی‌نام 1389].

اطلاع از خواص فیزیکی و مکانیکی دانه نخود هم چون سایر دانه‌های گیاهی در طراحی بهینه تجهیزات برای کاشت، برداشت، بوجاری و عملیات فراوری لازم است. کیفیت دانه حبوبات به طور قابل توجهی تحت تأثیر روش‌های برداشت و جابجایی است. در این عملیات بذور به طور مکرر تحت ضرباتی به سطوح فلزی و دیگر بذور قرار می‌گیرند. صدماتی که در اثر ضربه به بذر وارد می‌شود، باعث کاهش قابلیت نگهداری، کاهش درصد جوانه زنی و قدرت رویشی بذر و در نتیجه کاهش عملکرد محصول می شود بنابراین باید کلیه عوامل و پارامترهای موثر (مانند رطوبت، رقم، جهت، سرعت بارگذاری و...) بر میزان و نحوه این صدمات مورد بررسی علمی قرار گیرند؛ به عنوان مثال باید مشخص گردد که میزان رطوبت چه تأثیری بر این مسئله دارد. از این رو بررسی خواص فیزیکی و رئولوژیکی این محصول مورد توجه محققین قرار گرفته است. حبوبات از جمله نخود را پس از برداشت خرمن‌کوبی می‌کنند اما از آنجا که دولپه دانه حبوبات به سهولت از یکدیگر جدا می‌شوند به هنگام کوبیدن باید دقت کرد تا دانه‌ها خرد یا لپه لپه نشوند. ضایعات و صدمات نخود به صورت صدمه دیدن جنین، کنده شدن یا خراش برداشتن پوسته و لپه‌ای شدن نخود دیده می‌شود؛ که لپه‌ای شدن دارای اهمیت بیشتری می‌باشد [افکاری سولح و مینایی، 1387].

خزایی و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیقی اثرات رطوبت، اندازه دانه و جهت بارگذاری بر نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه سه رقم نخود ایرانی (بیونیژ، کاکا و جم) تحت اثر نیروهای شبه استاتیک در محدوده رطوبت ۱۵-۷ درصد بر مبنای تر را مطالعه نموده و میانگین نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه‌های نخود به ترتیب ۲۳۰ و ۱۰۵/۷میلی ژول بدست آوردند و نتیجه گرفتند که هر چهار فاکتور رطوبت دانه، اندازه دانه، رقم و جهت بارگذاری تأثیر معنی‌داری بر نیرو و انرژی لازم برای شکست دانه دارد . با افزایش رطوبت نیروی شکست کاهش و انرژی مصرفی افزایش نشان می‌دهد.

ذکی‌دیزجی و همکاران (2007) در تحقیقی تأثیر رطوبت، رقم و جهت بارگذاری بر خواص مکانیکی دانه نخود در رطوبت‌های 15، 20 و 25 درصد بررسی کردند. نتایج نشان داد با افزایش رطوبت از 15 به 25 درصد نیروی گسیختگی، انرژی گسیختگی و چغرمگی کاهش و تغییر شکل افزایش می یابد و اثر رقم فقط بر نیرو و انرژی گسیختگی معنی دار است و اثر جهت بارگذاری فقط بر نیروی گسیختگی معنی دار است به طوری که بیشترین نیروی گسیختگی در بارگذاری عرضی است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی دانه های نخود، مقدار مورد نیاز دانه های نخود برای تحقیق از مرکز تحقیقات کشاورزی کرمانشاه تهیه و سپس به آزمایشگاه انتقال داده شد . پس از تمیز کردن دانه‌ها از دانه های شکسته و ذرات خارجی، رطوبت اولیه دانه ها بر اساس روش استاندارد ASAE اندازه‌گیری شد که 9/2٪ بر پایه تر به دست آمد. پس از محاسبه مقدار آب لازم و اضافه کردن آب به آن، نمونه ها در ظرف پلاستیکی درب‌دار و در یخچال به مدت یک هفته نگه داشته شدند تا رطوبت تعادلی بدست آمد. قبل از شروع هر آزمایش، مقدار مورد نیاز از یخچال بیرو ن آورده شده و به مدت دو ساعت در دمای آزمایشگاهی نگه داشته می‌شد. برای انجام آزمون مکانیکی دانه های نخود برای تعیین ویژگی های استحکام فشاری دانه، از دستگاه آزمون کشش و فشار سنتام مدل STM-20 استفاده شد. در هر بار قرارگیری دانه های نخود در دستگاه، ابعاد اصلی دانه (L طول، W عرض و T ضخامت) توسط کولیس دیجیتالی با دقت 0/01 میلی‌متر اندازه گیری شد. برای تعیین قطر هندسی از رابط (1) استفاده شد [Mohsenin, 1970].

$$D_g = (LWT)^{1/3} \qquad (1)$$

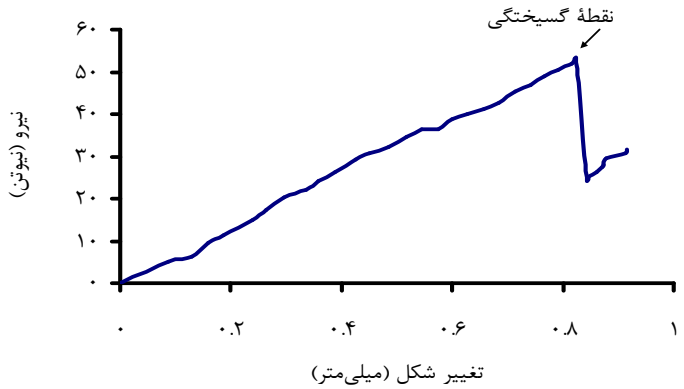
انرژی گسیختگی نمونه ها با استفاده از سطح زیر منحنی نیرو- تغییرشکل از مبدأ مختصات تا نقطه گسیختگی محاسبه شد. برای تعیین میزان چغرمگی هر یک از نمونه ها، مقدار انرژی گسیختگی آن‌ها بر حجم نمونه ها تقسیم و مقدار چغرمگی بر حسب $\frac{mj}{mm^3}$ تعیین گردید. حجم دانه از رابطه (2) محاسبه شد:

$$V = \frac{\pi D g^3}{6} \qquad (2)$$

برای بررسی خواص مکانیکی از یک طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار استفاده گردید که در آن فاکتورها (متغیرهای مستقل) شامل رطوبت، سرعت و جهت بارگذاری به ترتیب در 5، 3و 2 سطح و متغیرهای وابسته شامل نیروی گسیختگی، انرژی لازم گسیختگی، تغییر ش کل در نیروی شکست ریشه و چغرمگی می‌باشند.

نتایج و بحث

نیروی گسیختگی: چنانچه در شکل 1 که نمونه‌ای از نمودار نیرو- تغییر شکل دانه نخود در بارگذاری فشاری را نشان می‌دهد؛ مشاهده می‌شود، پس از بروز شکستگی، منحنی نیرو- تغییر شکل به طور ناگهانی افت می کند. این حالت در اکثر آزمایش ها ملاحظه گردید. نخستین نقطهٔ گسیختگی که در آن نیرو کاهش پیدا می کرد به عنوان نیروی گسیختگی دانه ثبت گردید. نیروی لازم برای گسیختگی یکی از معیارهای استحکام ماده محسوب می گردد. به طوری که استحکام دانه ها در مقابل نیروهای وارده به آن ها یکی از عوامل مهم در طراحی ماشین های فرآوری، برداشت مکانیکی، دستی و غیره است.



شکل 1- نمونه‌ای از نمودار نیرو- تغییر شکل دانه نخود در بارگذاری فشاری

مقدار نیروی لازم برای گسیختگی دانه‌ها با افزایش رطوبت از 11٪ تا 26٪ کاهش یافت. که با نتایج به دست آمده توسط کناک (2002)، خزایی (2004)، ذکی دیزجی و مینایی (2007) و ازریف و هولیا (2008) برای دانه های نخود، کرمانی و همکاران (1385) برای برنج و طباطبائی‌فر و همکاران (2007) برای زیره سبز مطابقت دارد.
با توجه به نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی رطوبت و جهت بارگذاری و نیز اثر متقابل رطوبت در جهت بارگذاری بر نیروی گسیختگی در سطح 1٪ معنی‌دار شده است. بیشترین نیروی لازم برای گسیختگی مربوط به رطوبت 11٪ در جهت عمود بر لپه (801/17 نیوتن) و کمترین نیرو در رطوبت 26٪ و در جهت موازی با لپه‌ی دانه (28 نیوتن) به دست آمد. میانگین نیروی گسیختگی در جهت عمود بر لپه‌ها ((236/78 نیوتن) بیشتر از آن در جهت موازی

با لپه‌ها (178/85 نیوتن) به دست آمد. همچنین گسیختگی در جهت عمود بر لپه به صورت خرد شدن و در جهت موازی با آن به طور معمول به صورت دو لپه شدن ظاهر می‌شد. با توجه نیروی مورد نیاز پایین در جهت موازی با لپه، به نظر می‌رسد بیشترین آسیب مکانیکی دانه نخود به صورت دو لپه شدن صورت گیرد. از نظر آسیب مکانیکی، لپه‌ای شدن تحت ضربات کوبش در خرمن‌کوبی دارای اهمیت بیشتری می‌باشد.

تفاوت مقدار میانگین نیرو در رطوبت 11٪ نسبت به سه سطح رطوبتی دیگر به طور معنی‌داری زیاد می‌باشد. با مقایسه میانگین نیروی گسیختگی متأثر از رطوبت به روش دانکن، سطح 11٪ در کلاس A و سه سطح دیگر در کلاس B قرار گرفتند. علت این تفاوت می‌تواند ناشی از ترد بودن دانه‌ها در سطح رطوبتی پایین باشد . مقایسه میانگین نیروی گسیختگی در سطوح مختلف رطوبتی در جدول 3 ارائه شده است.

تغییر شکل: با توجه به جدول 1، اثرات اصلی رطوبت و جهت بارگذاری و اثر متقابل رطوبت در جهت بر مقدار تغییر شکل دانه نخود در سطح 1٪ معنی دار می‌باشد. بنابراین افزایش رطوبت ضمن کاهش مقاومت مکانیکی دانه موجب افزایش قابلیت تغییر شکل‌پذیری آن می‌گردد. با افزایش رطوبت از 11 الی 26 درصد، تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی از مقدار میانگین 1/26 الی 2/32 میلی‌متر در جهت عمود با لپه (1/84 برابر) و از مقدار میانگین 1/043 الی 2/13 میلی‌متر در جهت موازی با لپه (2/05 برابر) افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج تحقیقات ذکی - دیزجی و مینایی (1386) برای نخود و آلتون تاش و ییلدیز (2005) برای باقلا مطابقت دارد . پیداست که میزان افزایش تغییر شکل با رطوبت در نقطهٔ گسیختگی در جهت موازی با لپه بیشتر از جهت عمود بر لپه است . بیشترین تغییر شکل 3/15 میلی متر در جهت عمود بر لپه و رطوبت 11٪ و کمترین 0/52 میلی متر در جهت موازی با لپه و رطوبت 26٪ به دست آمد. مقایسه میانگین تغییر شکل با رطوبت در جدول 3 آمده است.

انرژی گسیختگی و چغرمگی: انرژی لازم برای گسیختگی (مساحت زیر منحنی نیرو- تغییر شکل) بستگی به دو عامل نیرو و تغییر شکل دارد ولی با توجه به این که کاهش نیروی لازم برای گسیختگی دانه نخود نسبت به افزایش تغییر شکل در نقطهٔ گسیختگی، بیشتر بود به این دلیل انرژی لازم برای گسیختگی دانه نخود با افزایش رطوبت کاهش یافت. البته این نتیجه ممکن است برای مواد ترد و در رطوبت‌های پایین‌تر صادق نباشد.

ذکی و مینایی (1386) برای نخود نتیجه مشابهی به دست آوردند . کرمانی و همکاران (1385) در تحقیقی روی برنج بیان نمودند که با کاهش رطوبت برنج از 17 ٪ به 11٪ بر پایه تر نیرو و انرژی گسیختگی حدود دو برابر افزایش می‌یابد. با این حال بعضی از محققین اظهار نموده‌اند که با افزایش رطوبت به انرژی بیشتری برای تخریب دانه نخود و محصولات مشابه لازم می‌باشد [بیلانسکی 1966، خزایی و همکاران 1385]. البته دامنه و سطوح رطوبتی مورد مطالعه و عوامل مرتبط دیگر مانند ترد یا نرم بودن نمونه، م عیار شکست، نوع و جنس نمونه، شرایط آماده سازی نمونه، ارقام مختلف و روش و دستگاه آزمایش بر این مسئله تأثیر گذار می‌باشند [ذکی و مینایی ، 1385]. بیشترین و کمترین انرژی مورد نیاز گسیختگی به ترتیب 538 میلی ژول در رطوبت 11٪ و جهت عمود بر لپه و 11/5 میلی ژول در رطوبت 26٪ در جهت موازی لپه به دست آمد . میانگین انرژی لازم گسیختگی در جهت موازی با لپه (105/82 میلی ژول) کمتر از جهت عمود بر لپه دانه نخود (158/4 میلی ژول) بدست آمد. بنابراین به نظر می‌رسد در رطوبت‌های بالاتر از نظر انرژی گسیختگی نیز بیشترین آسیب ممکن به صورت لپه‌ای شدن ظاهر گردد.

تأثیرات رطوبت و جهت بارگذاری و اثر متقابل این دو بر چغرمگی (انرژی مورد نیاز برای گسیختگی به ازای واحد حجم) مشابه اثرات آن‌ها بر انرژی می‌باشد. با افزایش رطوبت چغرمگی از مقدار میانگین 0/523 به 0/223 $\frac{mJ}{mm^3}$ کاهش یافت. این نتیجه با نتایج تحقیقات ذکی دیزجی و مینایی (1386) برای دانه نخود مطابقت دار د. مقدار

میانگین چغرمگی دانه نخود در راستای موازی با لپه ($0/422\frac{mJ}{mm^3}$) کمتر از راستای عمود بر لپه ($0/602\frac{mJ}{mm^3}$) به دست آمد. مقایسه میانگین چغرمگی در سطوح مختلف رطوبت در جدول 3 نشان داده شده است.

نتیجه گیری:

1- تأثیر رطوبت دانه‌های نخود رقم آزاد بر کلیه خواص مکانیکی مورد ارزیابی در سطح 1٪ معنی‌دار بدست آمد. به طوری که با افزایش رطوبت از 11 تا 26 درصد بر پایه تر میانگین نیروی گسیختگی 5/02 برابر و انرژی گسیختگی 4/36 و چغرمگی 5 برابر کاهش یافته و تغییر شکل در نقطه گسیختگی 1/94 برابر افزایش یافت.

2- نیرو و انرژی مورد نیاز برای گسیختگی دانه های نخود در جهت عمود بر لپه بیشتر از جهت موازی با لپه به دست آمد (به ترتیب 1/33 و 1/5 برابر).

3- اثر سرعت بارگذاری و تأثیر متقابل رطوبت در سرعت بر کلیه خواص مکانیکی مورد بررسی غیر معنی‌دار بود.

4- اثر متقابل رطوبت در جهت بارگذاری بر خواص مکانیکی معنی دار (احتمال 1٪) بود. تأثیر رطوبت بر نیرو و انرژی گسیختگی در جهت عمود بر لپه بیشتر از تأثیر آن در جهت بارگذاری موازی با لپه دانه نخود به دست آمد.

جدول 1– میانگین مقادیر خواص مکانیکی دانه‌های نخود.

مشخصه مکانیکی	جهت بارگذاری	محتوای رطوبت بر پایه تر			
		٪11	٪16	٪21	٪26
نیروی شکست (N)	عمود بر لپه	575/89	138/02	133/97	99/25
	لپه موازی	408/75	117/18	92/82	96/67
تغییر شکل (mm)	عمود بر لپه	1/26	1/56	2/09	2/33
	موازی لپه	1/04	1/29	1/80	14
انرژی شکست (mJ)	عمود بر لپه	352/58	109/07	103/22	68/58
	موازی لپه	219/19	75/95	66/00	62/15
چغرمگی ($\frac{mJ}{mm^3}$)	عمود بر لپه	1/36	0/44	0/39	0/23
	موازی لپه	0/90	0/30	0/27	0/25

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس خواص مکانیکی دانه‌های نخود (بر حسب p)

منبع تغییرات	درجه آزادی	نیروی گسیختگی	تغییر شکل نقطه گسیختگی	انرژی گسیختگی	چغرمگی
رطوبت	3	0/000**	0/000**	0/000**	0/000**
سرعت بارگذاری	2	0/604 ns	0/305ns	0/774ns	0/398ns
جهت بارگذاری	1	0/000**	0/001**	0/000**	0/000**
رطوبت × سرعت بارگذاری	6	0/774ns	0/565ns	0/082ns	0/113ns
رطوبت × جهت بارگذاری	3	0/001**	0/971ns	0/004**	0/006**
سرعت × جهت بارگذاری	2	0/962ns	0/310ns	0/881ns	0/74ns
رطوبت × سرعت × جهت بارگذاری	6	0/220ns	0/527ns	0/723ns	0/745ns
خطا	97				

*معنی‌دار در سطح احتمال 5٪، ** معنی‌دار در سطح احتمال1٪، ns معنی‌دار نیست.

جدول 3-مقایسه میانگین خواص مکانیکی در رطوبت‌های مختلف (به روش دانکن5٪ = α)

مشخصه مکانیکی	محتوی رطوبت (wb)			
	٪11	٪16	٪21	٪26
نیروی شکست(N)	492/32a	127/6b	113/4b	97/96b
تغییر شکل (mm)	1/15d	1/42c	1/94b	2/23a
انرژی شکست (mJ)	285/88a	92/51b	84/61b	65/36b
چغرمگی ($\frac{mJ}{mm^5}$)	1/13a	0/37b	0/33b	0/22b

منابع

1. آمارنامه کشاورزی، جلد اول، محصولات زراعی سال زراعی 88 -1387 وزارت جهاد کشاورزی.
2. افکاری سرلج اح، و مینایی س، 1387. مبانی بررسی و ارزیابی ضایعات مکانیکی در محصولات کشاورزی، انتشارات جهاد دانشگاه‌ی، ص 40-39.
3. خزایی ج، رجبی پور ع، محتسبی س و بهروزی لار م، 1383. تعیین نیرو انرژی مورد نیاز برای شکست دانه نخود در بارگذاری شبه استاتیک. مجله علوم کشاورزی جلد شماره 35 سال 1383 (776-765).
4. ذکی دیزجی ح و مینایی س، 1386. تعیین برخی خواص فیزیکی و مکانیکی دانه نخود . فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران دوره 4 شماره 2 تابستان 1386.
5. صادقی‌پور ا، 1380. علم تولید گیاهان زراعی، بخش اول: حبوبات، انتشارات پزشکیان و پسران، ص 51-49.
6. کرمانی ع م، توکلی هشتجین ت، مینایی س و خوش تقاضا م ح، 1385. تعیین خواص مکانیکی دانه برنج و بررسی اثر سرعت بارگذاری فشاری. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران دوره 3 شماره 4 زمستان 1385.
7. کوچکی ع، 1381. زراعت حبوبات، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص 19-17.
8. Altuntaş E and Yildiz M, 2007. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (Vicia faba L.) grains, J Food Eng, 78: 174-183.
9. Bilanski WK, 1966. Damage resistance of seed grains. Trans of the ASAE, 19: 360 – 363.
10. Isik E and Hulya I, 2008. The effect of moisture of organic chickpea (Cicer arienum L.) Grain on the physical and mechanical properties. International Journal of Agricultural Reserch, 3: 40-51.
11. Konak M, Carman K and Aydin C, 2002. Physical properties of chickpea seeds. Biosystems Engineering, 82: 73-78.
12. Liu M, Haghighi K, Stroshine RL and Ting EC, 1990. Mechanical properties of the soybean cotyledon and failure strength of soybean kernels. Trans of the ASAE, 33: 559–566.
13. Mohsenin NN, 1970. Physical properties of plant and animal materials (2nd ed). Gordon and Breach Science Publishers, New York.