

## مقاله پژوهشی

# تهیه فیلم نازک اکسید روی با روش کندوپاش پلاسمایی و مطالعه تغییرات خواص الکتریکی، ساختاری و مورفولوژی آن با دوزهای مختلف تابش گاما

سارا نوبخت<sup>۱</sup>، ربابه طالبزاده\*<sup>۱</sup>، صمد سبحانیان<sup>۲</sup>، حمید نقش آرا<sup>۱</sup> و محمد کوهی<sup>۱</sup>

۱- گروه فیزیک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۴۰۰/۱۱/۲۵، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۴۰۱/۰۳/۱۷، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶

## چکیده

فیلم‌های نازک نانو ساختاری اکسید روی با ضخامت حدود ۱۵۰ nm با روش اسپاترینگ پلاسمایی برای سه دمای مختلف زیرلایه استیلی و درصد‌های مختلف ترکیب اکسیژن و گاز کاری آرگون تهیه گردیده و نمونه‌های مختلف تحت تابش پرتوهای گاما  $Co^{60}$  قرار داده شدند. تغییرات در طیف پراش پرتو اشعه X (XRD)، مقاومت ویژه و به تبع آن هدایت الکتریکی و مورفولوژی سطح برای دوزهای مختلف پرتو گاما از ۵۰ Gy تا ۲۰۰۰ Gy بررسی و مورد تحقیق قرار گرفته‌اند. با اینکه وابستگی خصوصیات الکتریکی و مورفولوژی فیلم‌های نازک با میزان دوز تابشی گاما، درصد ترکیب‌های گاز کاری و دماهای زیرلایه بسیار پیچیده است با این حال برای بعضی از دوزهای گاما تغییرات در فاز ساختاری، مقاومت ویژه و اندازه نانودانه‌های نشانه شده روی زیرلایه استیل به وضوح قابل ملاحظه هستند.

**واژه‌های کلیدی:** اکسید روی، پرتو گاما، خصوصیات الکتریکی و ساختاری، مورفولوژی، اسپاترینگ پلاسمایی.

## ۱- مقدمه

سنسورهای گاز، سنسورهای شیمیایی و بیوسنسورها هنوز از پرکاربردترین موادها است [۷-۱]. فیلم نازک اکسید روی نمونه‌ای از فیلم‌های نازک اکسید فلزی می‌باشد که امروزه از جایگاه ویژه‌ای در علم و تکنولوژی برخوردارند. مطالعاتی روی فیلم‌های نازک ساخته شده از اکسیدهای فلزی و ترکیب آن‌ها برای استفاده دوزیمتری تابش، حساسیت و سلول‌های حافظه انجام شده است [۱۳-۸].

اکسید روی یک اکسید رسانای شفاف با پهنای باند ۳/۳ eV و یک نیمه هادی نوع n است که شفافیت بالایی در ناحیه مرئی دارد. به دلیل کاربردهای زیاد اکسید روی مثل فوتوآنها در سلول‌های خورشیدی، دیوهای انتشار کننده نور، انتشار لیزر فرابنفش، آشکارسازها، ابزارهای الکتریکی،

\* عهده‌دار مکاتبات: ربابه طالبزاده

نشانی: گروه فیزیک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

تلفن: ۰۴۱-۳۱۹۶۶۴۱۸، دورنگار: ۰۴۱-۳۱۹۶۶۱۳۶۸، پست الکترونیکی: robab.talebzadeh@iaut.ac.ir

دوزیمتری گاما و مشخص کردن آهنگ دوز با بهره‌گیری از فیلم‌های نازک انجام گرفته است [۲۸،۲۹]. خواص ساختاری، مورفولوژیک و اپتیکی فیلم‌های نازک آلاییده اکسید روی توسط آناند و همکاران مورد بررسی قرار گرفت [۳۰]. همچنین در فیلم‌های نازک آلاییده، میا و همکارانش نشان دادند که شکاف نیمه هادی اکسید روی را می‌توان با اضافه کردن منیزیم افزایش داد [۳۱]. البته ما نیز اخیراً مطالعه‌ای در ارتباط با تاثیر پرتو گاما بر روی خصوصیات اپتیکی فیلم‌های نازک اکسید روی انجام دادیم [۳۲] و در این بررسی به مطالعه تاثیر پرتو گاما بر روی خصوصیات الکتریکی و ساختاری فیلم‌های نازک اکسید روی پرداختیم.

## ۲- فعالیت‌های تجربی

در مراحل مقدماتی شامل تمیز کردن زیرلایه استیل با استفاده از آب مقطر و متانول به مدت ۱۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک است، بعد از شستشو دادن زیرلایه‌ها را با گاز نیتروژن خشک می‌کنیم. از هدف Zn به شکل قرص دایروی به قطر ۷/۶ cm (۳ inch) با خلوص ۹۹/۹۹ درصد در دستگاه اسپاترینگ Meca-2000 دانشگاه تبریز برای لایه‌نشانی استفاده شده است. ۳۶ نمونه بر روی زیرلایه استیل در دماهای مختلف زیرلایه، ۲۰۰، ۲۵۰، و ۳۵۰ °C با درصدهای ترکیبی اکسیژن به آرگون ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ لایه‌نشانی شد. ضخامت نمونه‌های تهیه شده را به کمک ضخامت‌سنج متصل به دستگاه اسپاترینگ حدود ۱۵۰ nm مشخص شدند. نمونه‌ها پس از لایه‌نشانی در معرض تابش پرتوی گاما  $^{60}\text{Co}$  با فعالیت ۳۲۰ kCi با سیستم پرتودهی پانورامیک استخری در دوزهای مختلف ۰ Gy، ۲۰۰۰ Gy، ۱۰۰۰ Gy، ۵۰۰ Gy و ۱۰۰ Gy و ۵۰ Gy قرار داده شدند.

برای تعیین مشخصات ساختاری فیلم‌های نازک تهیه شده، طیف‌های XRD از نوع Grazing آن‌ها در شرکت بیم گستر تابان تهران با دستگاه PHILIPS مدل PW1730 ساخت کشور هلند با ولتاژ ۴۰ kV و جریان ۳۰ mA تهیه گردید.

می‌دانیم تابش دهی هر ماده جامد توسط پرتوهای یونیزه کننده تغییراتی را در خصوصیات میکرو و نانو ساختاری مواد ایجاد می‌کند، که به نوبه خود در خصوصیات نوری، الکتریکی و دیگر خصوصیات مواد تاثیر می‌گذارد [۱۹-۱۴]. بنابراین در این بررسی به مطالعه خصوصیات فیلم نازک اکسید روی پرتودهی شده با اشعه گاما پرداختیم.

نظر به اینکه در مطالعه خصوصیات اپتیکی، الکتریکی و مکانیکی فیلم‌های نازک، روش تهیه فیلم نازک بسیار مهم هست و از طرفی روش لایه‌نشانی کندوپاش پلاسمایی (اسپاترینگ) با توجه به قابلیت‌های منحصربفرد، روش موثری برای تهیه فیلم نازک به شکل همگن و با ضخامت‌های متنوع (nm- $\mu\text{m}$ ) می‌باشد [۲۰] ما نیز این روش را برای تهیه نمونه‌های فیلم‌های نازک بکار بردیم هر چند که به علت ظرافت‌ها و دقت خاصی که طلب می‌کند کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش از گاز آرگون یا نوع دیگر گاز بی‌اثر و ترکیبی از گاز دیگر را می‌توان استفاده کرد و ساختار کریستالی فیلم تهیه شده را تغییر داد. هر چند بررسی‌هایی انجام شده که نشان می‌دهد با استفاده از ترکیب‌های مختلف اکسیژن یا هیدروژن با گاز کاری، تغییر ضخامت فیلم و میزان حرارت نمونه، طیف عبور نور و مقاومت الکتریکی فیلم‌های نازک اکسیدهای فلزی آلاییده را می‌توان تغییر داد [۲۱،۲۲]. اما تاثیر تابش گاما بر روی نمونه‌های فیلم نازک اکسید روی غیر آلاییده تهیه شده به روش کندوپاش مورد مطالعه قرار نگرفته است.

در سال‌های اخیر اثر تابش پرتوهای گاما برخی فیلم‌های نازک اکسید فلزی مورد توجه قرار گرفته است. از جمله تاثیر تابش گاما بر خواص الکتریکی ITO (Indium tin oxide) و  $\text{CeO}_2$  بررسی شده است [۲۳،۲۴]. در یک بررسی دیگر، لی و همکارانش فیلم‌های نازک Cu-ZnO را با روش کندوپاش دو مرحله‌ای آماده کردند و خواص نانو ساختار آن را مورد مطالعه قرار دادند [۲۵]. همچنین تاثیر پرتو گاما بر روی خصوصیات ساختاری نانوپودر اکسید روی در سال‌های اخیر بررسی شده است [۲۶،۲۷]. اخیراً مطالعاتی نیز درباره کاربرد

جدول ۱: مشخصات نمونه‌های تهیه شده.

شماره نمونه	O <sub>2</sub> /Ar (%)	دمای زیرلایه (°C)	دوز (Gy)	شماره نمونه	O <sub>2</sub> /Ar (%)	دمای زیرلایه (°C)	دوز (Gy)	شماره نمونه	O <sub>2</sub> /Ar (%)	دمای زیرلایه (°C)	دوز (Gy)
۱	۳۰	۲۰۰	۵۰	۱۳	۳۰	۳۵۰	۵۰	۲	۳۰	۲۰۰	۱۰۰
۲	۳۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۴	۳۰	۳۵۰	۱۰۰	۳	۳۰	۲۰۰	۵۰۰
۳	۳۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۵	۳۰	۳۵۰	۵۰۰	۴	۳۰	۲۰۰	۱۰۰۰
۴	۳۰	۲۰۰	۱۰۰۰	۱۶	۳۰	۳۵۰	۱۰۰۰	۵	۳۰	۲۰۰	۲۰۰۰
۵	۳۰	۲۰۰	۲۰۰۰	۱۷	۳۰	۳۵۰	۲۰۰۰	۶	۳۰	۲۰۰	۰
۶	۳۰	۲۰۰	۰	۱۸	۳۰	۳۵۰	۰	۷	۳۰	۲۵۰	۵۰
۷	۳۰	۲۵۰	۵۰	۱۹	۱۰	۳۵۰	۵۰	۸	۳۰	۲۵۰	۱۰۰
۸	۳۰	۲۵۰	۱۰۰	۲۰	۱۰	۳۵۰	۱۰۰	۹	۳۰	۲۵۰	۵۰۰
۹	۳۰	۲۵۰	۵۰۰	۲۱	۱۰	۳۵۰	۵۰۰	۱۰	۳۰	۲۵۰	۱۰۰۰
۱۰	۳۰	۲۵۰	۱۰۰۰	۲۲	۱۰	۳۵۰	۱۰۰۰	۱۱	۳۰	۲۵۰	۲۰۰۰
۱۱	۳۰	۲۵۰	۲۰۰۰	۲۳	۱۰	۳۵۰	۲۰۰۰	۱۲	۳۰	۲۵۰	۰
۱۲	۳۰	۲۵۰	۰	۲۴	۱۰	۳۵۰	۰				

تبریز استفاده شد. مشخصات نمونه‌های تهیه شده به روش اسپاترینگ پلاسمایی DC بر روی زیرلایه استیل در جدول ۱ آورده شده است.

### ۳- نتایج و بحث

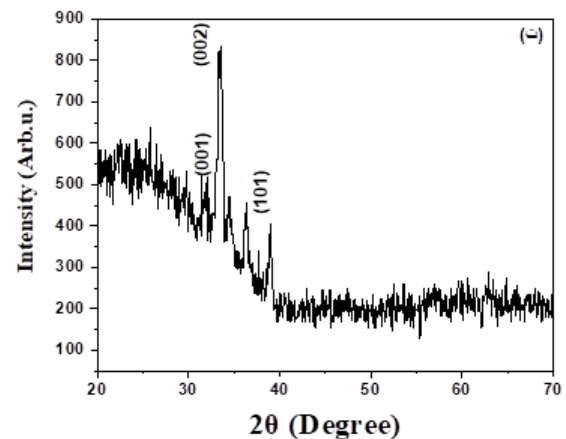
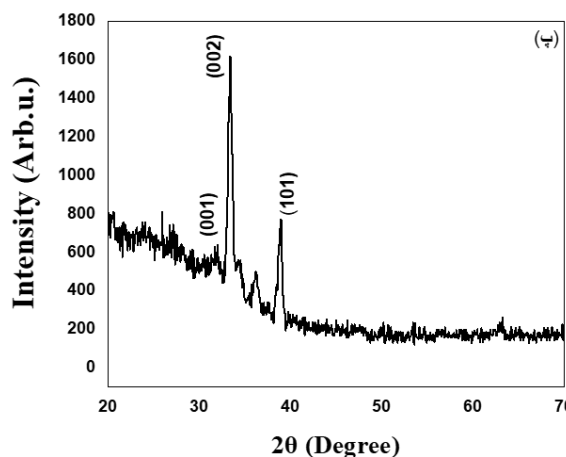
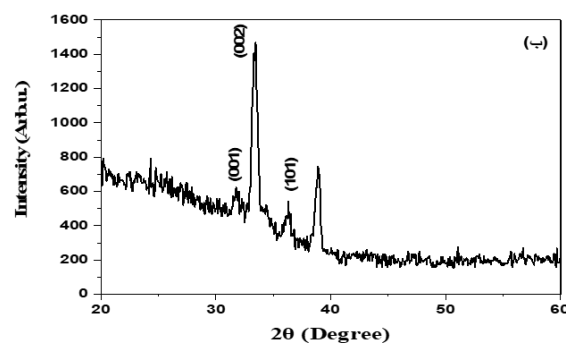
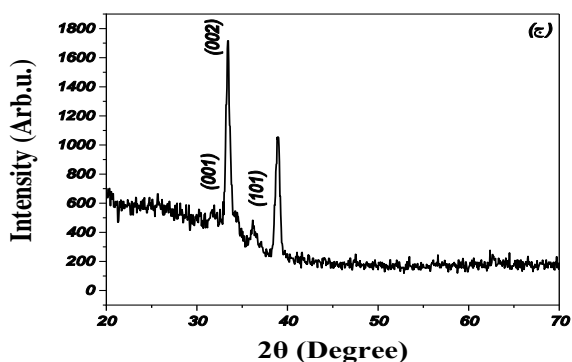
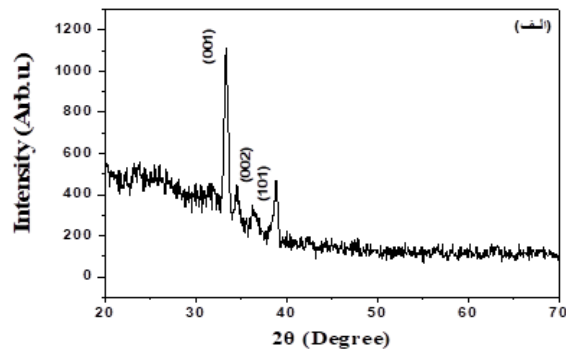
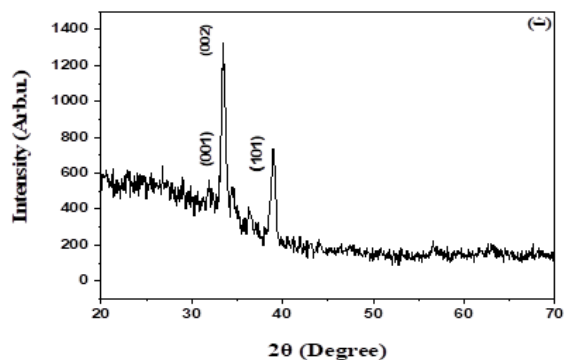
#### ۳-۱- آنالیز پراش پرتو X

ساختار کریستالی فیلم نازک ZnO با XRD بررسی شده است. شکل ۲ به عنوان نمونه مشخصات ساختاری برای نمونه‌های تهیه شده در دمای زیرلایه ۳۵۰ °C را نشان می‌دهد. در همه این طیف‌های XRD، ارتفاع پیک‌های اول که مربوط به ساختار کریستالی (۰۰۲) می‌باشند برای حالت دوز زیاد گاما (۲۰۰۰ Gy) کاهش می‌یابد، برای بقیه دوزها ارتفاع این پیک تقریباً ثابت است. بنظر می‌رسد این رفتار به خاطر تغییر ساختار بلوری نیمه رسانای اکسید روی است. اثر تابش گاما ایجاد و از بین بردن نقص بلوری بسته به میزان دوزهای تابشی گاما است. کاهش در ارتفاع پیک نشانگر افزایش در نقص بلوری می‌باشد که به معنای تبلور ضعیف است.



شکل ۱: دستگاه چهار پروب دانشگاه تبریز.

برای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی لایه‌های نازک از دستگاه پروب چهار سوزنی با فاصله یکسان SIGNATION ساخت کشور آمریکا (شکل ۱)، برای بررسی مورفولوژی سطح از میکروسکوپ الکترونی روبشی و برای تشخیص عناصر از پراش انرژی پرتو X مارک MIRA3 FEG-SEM ساخت کمپانی Tescan کشور چک موجود در دانشگاه



شکل ۲: نمونه طیف‌های پراش پرتو X برای فیلم‌های تهیه شده در دمای ۳۵۰ °C و نسبت اکسیژن به آرگون ۲۰٪ برای نمونه‌های با تابش پرتو گامای، الف) بدون تابش، ب) ۵۰ Gy، پ) ۱۰۰ Gy، ت) ۵۰۰ Gy، ث) ۱۰۰۰ Gy و ج) ۲۰۰۰ Gy.

### ۳-۲- خصوصیات الکتریکی

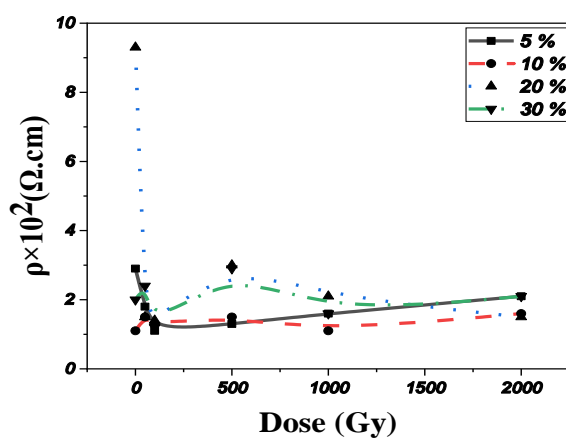
زاویه مقاومت الکتریکی نمونه‌های نانوساختاری تهیه شده به روش چهار پروب اندازه گرفته شد. همه اندازه‌گیری‌ها در دمای اتاق انجام گردیدند. برای بدست آوردن مقاومت ویژه داریم:

$$R = \frac{V}{I} = \rho \frac{l}{S} \quad (۱)$$

$$\rho = \frac{V.S}{Il} \quad (۲)$$

که R مقاومت الکتریکی برحسب Ω، V ولتاژ برحسب ولت، I شدت جریان برحسب A، l طول نمونه برحسب cm، S سطح مقطع فیلم برحسب cm<sup>2</sup> و ρ مقاومت ویژه برحسب

۱۰۰۰ Gy مقاومت ویژه با افزایش دوز، افزایش می‌یابد. نظر به اینکه تغییرات در میزان درصد‌های ترکیبی متفاوت اکسیژن به آرگون منجر به تغییراتی در شکل‌گیری و خصوصیات فیلم نازک نانوساختاری اکسید روی می‌شود از طرفی تابش پرتو گاما منجر به تغییراتی در ساختار ریز اتمی مفروض می‌شود بنابراین در مورد تاثیر میزان درصد‌های ترکیبی متفاوت اکسیژن به آرگون نسبت به دوزهای مختلف نمی‌توان اظهار نظر دقیقی کرد.



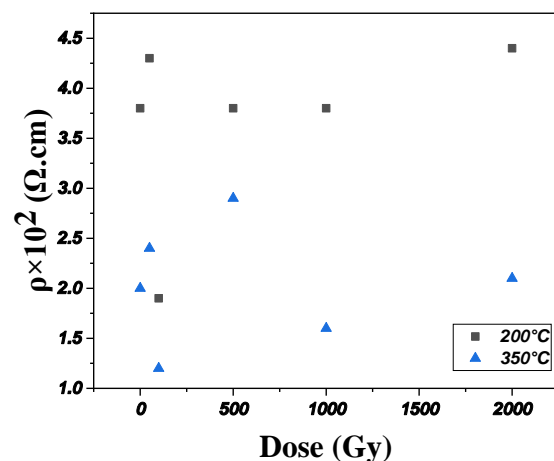
شکل ۴: نمودار مقاومت ویژه برحسب دوز تابشی پرتو گاما برای درصد‌های ترکیبی متفاوت اکسیژن به آرگون.

شکل ۵ نمودار مقاومت ویژه برحسب دمای زیرلایه برای نمونه‌های نانوساختارهای اکسید روی تابش‌دهی شده با پرتو گاما را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود برای تمام نمونه‌ها تا دمای ۲۵۰ °C کاهش مقاومت ویژه و از دمای ۲۵۰ تا ۳۵۰ °C افزایش مقاومت ویژه را داریم به جز نمونه ۲۰۰۰ Gy که رفتار متفاوتی را نشان می‌دهد. برای دمای کمتر از ۲۵۰ °C، بیشترین مقدار مقاومت ویژه مربوط به نمونه با دوز تابشی ۲۰۰۰ Gy و کمترین مقدار مقاومت ویژه مربوط به نمونه ۲۵۰ °C است. برای دماهای بیشتر از ۲۵۰ °C کمترین مقدار مقاومت ویژه مربوط به نمونه با تابش‌دهی ۱۰۰۰ Gy است.

( $\Omega\text{cm}$ ) است. مقاومت ویژه  $\rho$  فیلم‌ها را عملاً می‌توان بطور ساده از معادله زیر بدست آورد:

$$\rho = Rd \quad (3)$$

که در آن  $d$  ضخامت نمونه است. با فرض یکسان بودن ضخامت برای همه نمونه‌ها، مقاومت ویژه را بدست می‌آوریم. شکل ۳ نمودار مقاومت ویژه برحسب دوز تابشی گاما برای دماهای متفاوت زیرلایه را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار مقاومت ویژه مربوط به نمونه تهیه شده در دمای ۲۰۰ °C و کمترین مقدار مقاومت ویژه مربوط به نمونه ۲۵۰ °C است. برای دوزهای تابشی ۱۰۰۰ Gy و ۲۰۰۰ Gy برای هر دو نمونه افزایش مقاومت ویژه را مشاهده می‌کنیم.

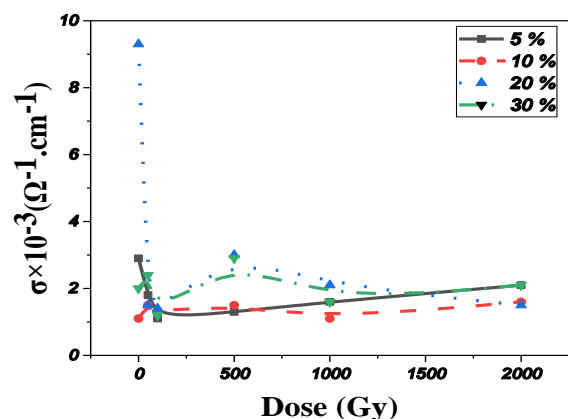


شکل ۳: نمودار مقاومت ویژه برحسب دوز تابشی گاما در دماهای مختلف زیرلایه.

شکل ۴ نمودار مقاومت ویژه نانوساختارهای اکسید روی برحسب دوز گاما تابشی برای درصد‌های ترکیبی متفاوت اکسیژن به آرگون را نشان می‌دهد. برای درصد‌های پایین‌تر از ۳۰٪ مقاومت ویژه با دوز گاما ابتدا افزایش سپس کاهش نشان می‌دهد، ولی برای تمام درصد‌ها به جز ۳۰٪ بالاتر از

طرفی می‌دانیم شرط تحقق تولید زوج-حفره این است که انرژی فوتون تابشی از انرژی سکون الکترون و پوزیترون بیشتر باشد ( $E > 1.02$ ) تصور می‌شود در دوزهای پایین ( $0-250$  Gy) پدیده تولید زوج-حفره غالب باشد بنابراین افزایش تعداد حاملین بار و افزایش جریان که نتیجه آن کاهش مقاومت است را مشاهده می‌کنیم.

در دوزهای متوسط ( $250-500$  Gy)، با ایجاد جابجایی‌های اتمی و عیب‌های کریستالی جریان بر اثر به تله افتادن حاملین بار توسط عیوب کریستالی کاهش یافته در نتیجه مقاومت افزایش می‌یابد. همچنین در دوزهای بالا ( $500-2000$  Gy) با توجه به تعادل بین این دو پدیده مقاومت تقریباً ثابت می‌ماند.

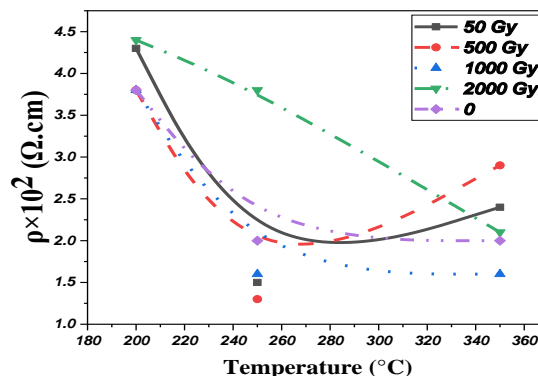


شکل ۷: نمودار هدایت الکتریکی بر حسب دوز تابشی گاما برای درصدهای متفاوت نسبت اکسیژن به آرگون.

هدایت الکتریکی فیلم‌های نازک ZnO برحسب  $(\Omega\text{cm})^{-1}$  را با استفاده از فرمول زیر محاسبه کردیم:

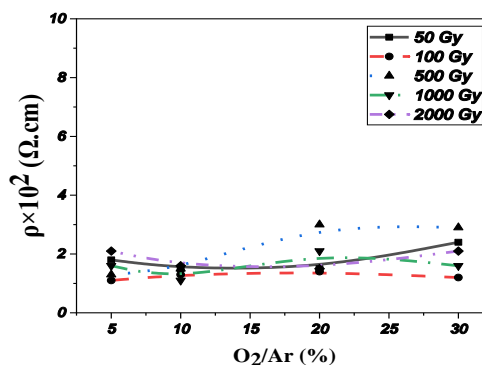
$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (۴)$$

که در آن  $\rho$  مقاومت ویژه نمونه است. شکل ۷ نمودار هدایت الکتریکی بر حسب دوزهای تابشی گاما برای



شکل ۵: نمودار مقاومت ویژه بر حسب دمای زیرلایه بر حسب دوزهای تابشی متفاوت گاما.

شکل ۶ نمودار مقاومت ویژه برحسب نسبت درصدهای متفاوت اکسیژن به آرگون برای نمونه‌های تهیه شده در دوزهای متفاوت تابشی گاما را نشان می‌دهد. کمترین مقدار مقاومت ویژه برای نمونه تابش دهی شده با دوز ۱۰۰ Gy است. برای تمام نمونه‌ها با افزایش نسبت اکسیژن به آرگون کاهش، سپس افزایش و دوباره کاهش را مشاهده می‌کنیم به جز برای نمونه‌های ۵۰ Gy و ۲۰۰۰ Gy که در بعضی نواحی رفتار متفاوت دارند.



شکل ۶: نمودار مقاومت ویژه بر حسب درصد نسبت اکسیژن به آرگون برای دوزهای تابشی متفاوت گاما.

می‌دانیم سه نوع برهمکنش فوتون با ماده (پدیده فوتوالکتریک، پدیده کامپتون و پدیده تولید زوج) داریم. از

جدول ۲: مقاومت الکتریکی، مقاومت ویژه و هدایت الکتریکی نمونه‌های تهیه شده.

شماره نمونه	R ×10 <sup>6</sup> (Ω)	ρ ×10 <sup>2</sup> (Ω.cm)	Σ ×10 <sup>-3</sup> (Ω <sup>-1</sup> .cm <sup>-1</sup> )	شماره نمونه	R ×10 <sup>6</sup> (Ω)	P ×10 <sup>2</sup> (Ω.cm)	σ ×10 <sup>-3</sup> (Ω <sup>-1</sup> .cm <sup>-1</sup> )	شماره نمونه	R ×10 <sup>6</sup> (Ω)	ρ ×10 <sup>2</sup> (Ω.cm)	σ ×10 <sup>-3</sup> (Ω <sup>-1</sup> .cm <sup>-1</sup> )
۱	۹/۴۷	۴/۳	۲/۳	۱۳	۵/۲۵	۲/۴	۴/۲	۲۵	۳/۳۰	۱/۵	۶/۷
۲	۴/۲۳	۱/۹	۵/۳	۱۴	۲/۶۸	۱/۲	۸/۳	۲۶	۳/۱۰	۱/۴	۷/۱
۳	۸/۴۵	۳/۸	۲/۶	۱۵	۶/۳۲	۲/۹	۳/۴	۲۷	۳/۵۵	۳/۰	۳/۳
۴	۸/۴۰	۳/۸	۲/۶	۱۶	۳/۶۳	۱/۶	۶/۳	۲۸	۴/۶۴	۲/۱	۴/۸
۵	۹/۷۳	۴/۴	۲/۳	۱۷	۴/۶۱	۲/۱	۴/۸	۲۹	۳/۲۵	۱/۵	۶/۷
۶	۸/۴۹	۳/۸	۲/۶	۱۸	۴/۴۹	۲/۰	۵/۰	۳۰	۲/۰۵	۹/۳	۱/۱
۷	۳/۲۸	۱/۵	۶/۷	۱۹	۳/۲۷	۱/۵	۶/۷	۳۱	۳/۹۶	۱/۸	۵/۶
۸	۸/۵۴	۳/۹	۲/۶	۲۰	۲/۸۳	۱/۳	۷/۷	۳۲	۲/۵۳	۱/۱	۹/۱
۹	۲/۷۶	۱/۳	۷/۷	۲۱	۳/۳۲	۱/۵	۶/۷	۳۳	۲/۸۸	۱/۳	۷/۷
۱۰	۳/۴۹	۱/۶	۶/۳	۲۲	۲/۳۴	۱/۱	۹/۱	۳۴	۳/۴۵	۱/۶	۶/۳
۱۱	۸/۴۷	۳/۸	۲/۶	۲۳	۳/۵۵	۱/۶	۶/۳	۳۵	۴/۶۵	۲/۱	۴/۸
۱۲	۴/۴۴	۲/۰	۵/۰	۲۴	۲/۵۱	۱/۱	۹/۱	۳۶	۶/۳۰	۲/۹	۳/۴

درصد‌های ترکیبی متفاوت اکسیژن به آرگون را نشان می‌دهد. هدایت الکتریکی تمام نمونه‌های تهیه شده در ترکیب‌های مختلف گازی برای دوزهای تابشی بالاتر از ۱۰۰۰ Gy افزایش می‌ابد. در جدول ۲ مقاومت الکتریکی، مقاومت ویژه و هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده را برای نمونه‌های نانو ساختاری اکسید روی تهیه شده درج کرده‌ایم.

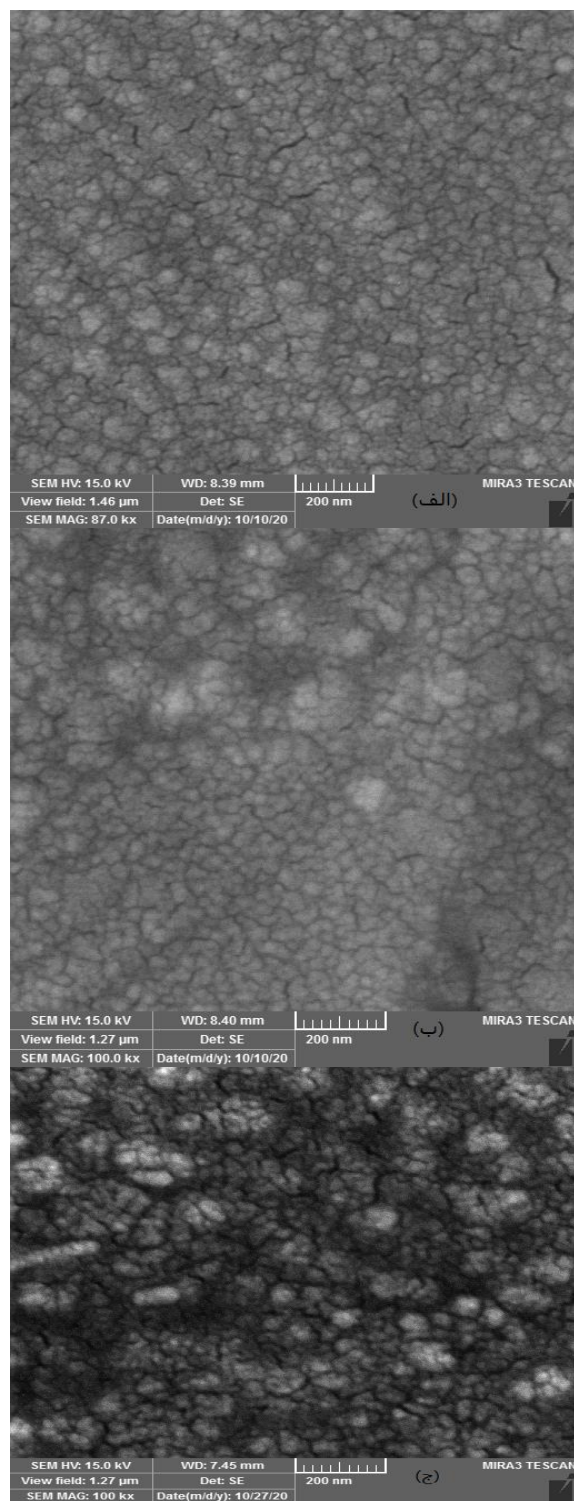
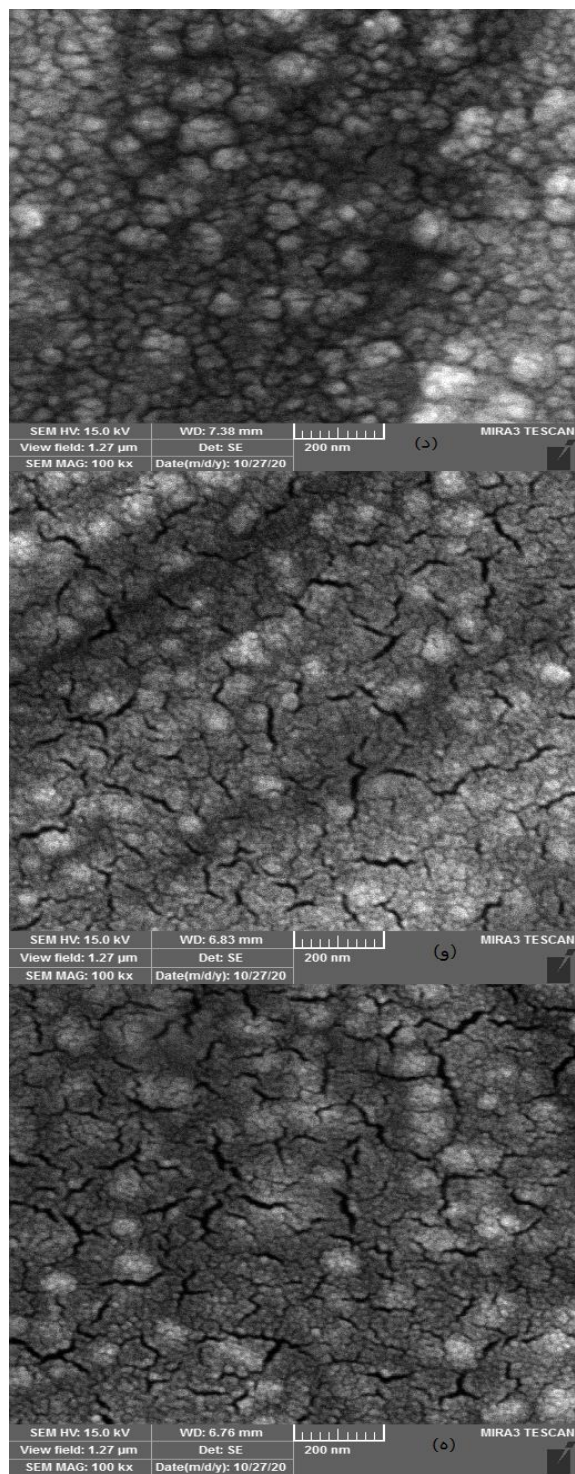
### ۳-۳- آنالیز SEM و EDAX

به شکل ۸ مورفولوژی سطح برای فیلم نازک نانو ساختارهای اکسید روی تهیه شده را نشان می‌دهد. فیلم‌ها دارای نانو ساختار متخلخل و کروی هستند، اندازه ذرات در حدود ۸۰-۳۰ nm می‌باشند. همانطور که مشاهده می‌کنیم با افزایش دوز تابشی گاما، تا دوز مشخص ۵۰۰ Gy، اندازه ذرات بزرگتر می‌شود و برای دوزهای بالاتر از این مقدار اندازه ذرات با افزایش دوز پرتوی گاما دوباره کوچکتر می‌شود. برای نمونه بدون تابش گاما تراکم ذرات بیشتر و ترک خوردگی‌های بین ذرات کمتر است با تابش پرتو گاما تراکم

ذرات بیشتر شده تعداد ترک خوردگی‌ها بیشتر می‌شود اما فاصله ترک خوردگی‌ها کاهش یافته است، با افزایش دوز پرتو تابشی گاما از یک مقدار مشخص شکاف‌ها دوباره بیشتر می‌شود. بنابراین در زمان رشد فیلم نازک که فیلم در حال ساخت است ترک نداریم و سایز یزدانه‌ها و تعدادشان رو به افزایش است، برای دوزهای بالاتر که ذرات بهم متصل می‌شوند و اندازه آن‌ها بزرگتر می‌شود چگالی افزایش می‌یابد و ترک خوردگی‌هایی بوجود می‌آید. با استفاده از نرم‌افزار ImageJ بزرگی ذرات معلوم گردید (شکل ۹). میانگین بزرگی ذرات که برای هر مورد بدست آورده شد، دقیقاً با نتایج SEM مطابقت دارد.

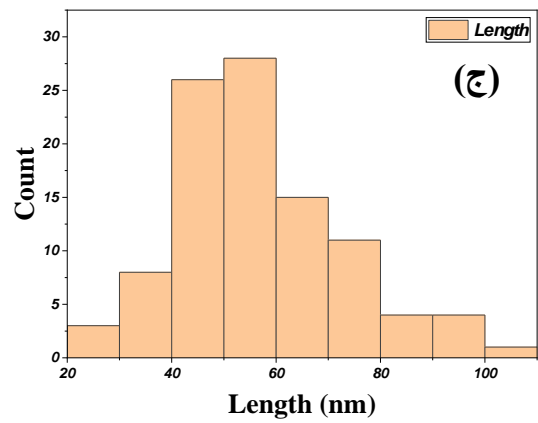
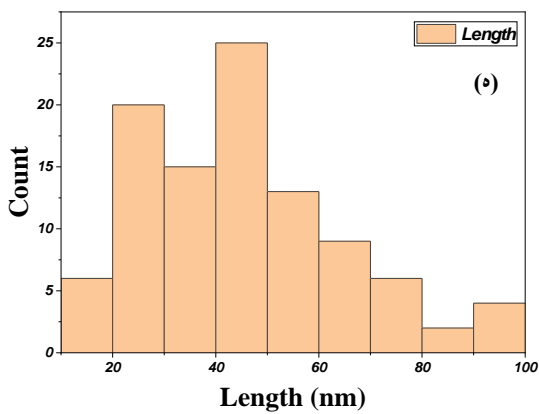
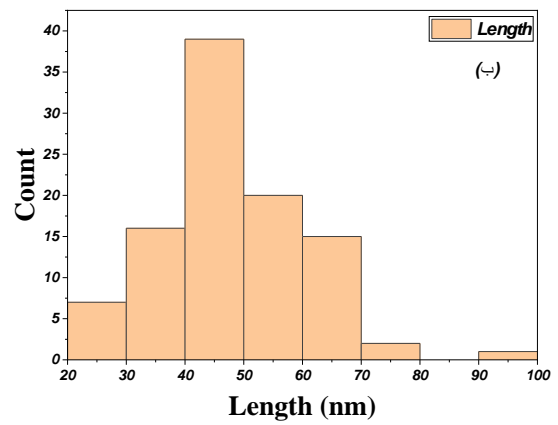
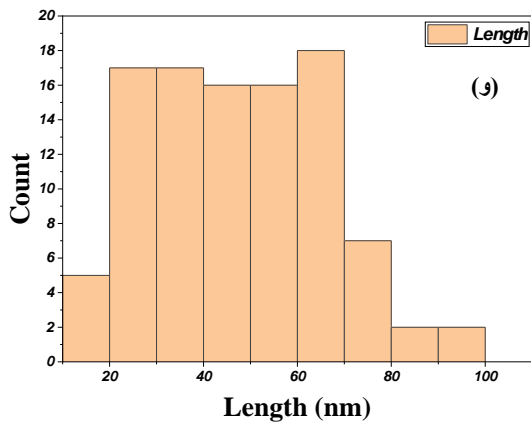
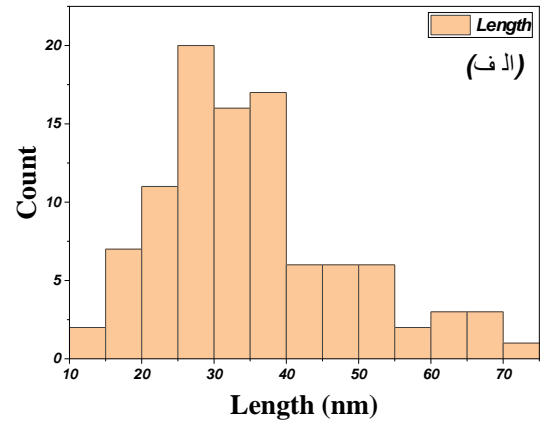
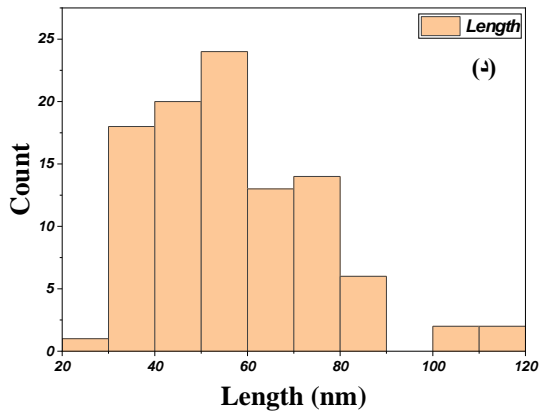
در نهایت طیف‌سنجی آنالیز تفکیک انرژی پرتو ایکس را برای نمونه‌های نانو ساختاری اکسید روی آماده شده در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز انجام دادیم همانطور که شکل ۱۰ نشان می‌دهد، طیف استاندارد اکسید روی با نتایج ما مقایسه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود نمونه حاوی ترکیب اکسید روی است.





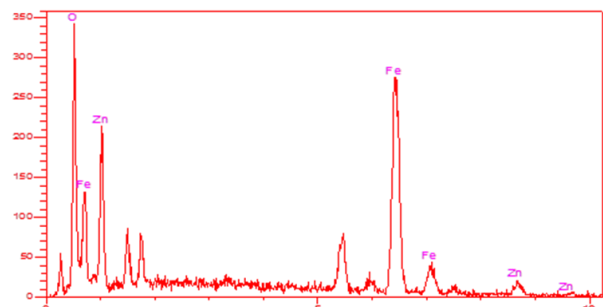
شکل ۸: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های نانوساختاری اکسید روی تهیه شده در دمای ۳۵۰ °C و نسبت درصد اکسیژن به آرگون ۳۰٪ با دوزهای تابشی، (الف بدون تابش، ب) ۵۰ Gy، (ج) ۱۰۰ Gy، (د) ۵۰۰ Gy، (ه) ۱۰۰۰ Gy و (و) ۲۰۰۰ Gy.





شکل ۹: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های نانوساختاری اکسید روی تهیه شده در دمای ۳۵۰ °C و نسبت درصد اکسیژن به آرگون ۳۰٪ با دوزهای تابشی، (الف بدون تابش، ب ۵۰ Gy، ج ۱۰۰ Gy، د ۵۰۰ Gy، و ه ۱۰۰۰ Gy و ۲۰۰۰ Gy.

نسبت اکسیژن به آرگون افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد (از یک ماکزیمم مشخص عبور می‌کند)، با تابش گاما این قله ظاهر شده در ۲۰٪ شدیداً کاهش می‌یابد. بدیهی است که هدایت الکتریکی رفتار عکس مقاومت ویژه را دارد و بطور خلاصه از دوز ۱۰۰۰ Gy به بالا برای همه درصدهای ترکیب گازی افزایش مقدار هدایت الکتریکی دیده شد. برای دوزهای پایین تر از لحاظ مورفولوژی، ابعاد دانه‌ها با افزایش دوز تابشی گاما تا ۵۰۰ Gy افزایش می‌یابد و برای دوزهای تابشی بیشتر از این مقدار دوباره کاهش اندازه دانه‌ها را مشاهده می‌کنیم ضمناً برای دوزهای بالا، ترک خوردگی‌هایی در سطح دیده می‌شود.



شکل ۱۰: طیف‌سنجی با آنالیز تفکیک انرژی پرتو ایکس برای نمونه تهیه شده با زیرلایه استیل.

## ۴- نتیجه‌گیری

با استفاده از هدف Zn خالص (۹۹/۹۹ درصد) در دستگاه اسپاترینگ پلاسمایی فیلم‌های نازک نانوساختاری اکسید روی با ضخامت ۱۵۰ nm تهیه و تغییر خصوصیات الکتریکی آن در اثر تابش پرتوهای گامای چشمه  $Co^{60}$  بررسی گردید. از طرح‌های پراش پرتو X نمونه‌ها معلوم گردید که در دوزهای پایین تابشی گاما، ارتفاع پیک اصلی که مربوط به (۰۰۲) است تغییر زیادی نکرده ولی در دوز بالا (۲۰۰۰ Gy) ارتفاع آن پایین می‌آید. این شاید به خاطر تغییر ساختار بلوری نیمه‌رسانای اکسید روی است. مقاومت ویژه نمونه‌های نانوساختاری اکسید روی که با روش چهار پروب اندازه‌گیری شده است هم با دمای زیرلایه، هم با میزان دوز گامای تابشی و هم درصد گاز اکسیژن اضافه شده به گاز اصلی آرگون تغییر می‌کند. برای هر دو دمای زیرلایه (۳۵۰ و ۲۰۰ °C) مقاومت ویژه از دوز ۱۰۰۰ Gy به بالا افزایش می‌یابد ولی برای دوزهای پایین‌تر، رفتار متفاوتی دیده می‌شود با اینکه برای دماهای ۲۵۰ و ۳۵۰ °C افزایش مقاومت ویژه را تا دوز گامای ۵۰۰ Gy ملاحظه می‌کنیم. در مورد درصد ترکیب‌های گازها، باز هم در دماهای بالاتر از ۱۰۰۰ Gy، مقاومت ویژه با میزان دوز تابشی گاما افزایش می‌یابد. ظاهراً مقاومت ویژه با دمای زیرلایه و میزان دوز، ارتباط پیچیده‌ای دارد. مقاومت ویژه با دمای زیرلایه ابتدا کاهش یافته و بعداً تقریباً ثابت می‌ماند، برای دوزهای بالا (۲۰۰۰ Gy) کاهش مداومی دیده می‌شود. در مورد درصد ترکیب گازها ملاحظه گردید که مقاومت ویژه تا کسر ۲۰٪

## مراجع

- [1] K.J. Chen, F.Y. Hung, S.J. Chang, S.J. Young, *Journal of Alloys and Compounds*, **479**, 2009, 674.
- [2] Z.R. Khan, M.S. Khan, M. Zulfeqar, M.S. Khan, *Materials Science and Applications*, **2**, 2011, 340.
- [3] S. Lee, S.S. Lee, J.J. Choi, J. Jeon, K. Ro, *Microsystem Technologies*, **11**, 2005, 416.
- [4] Y. Li, Y. Bando, D. Golberg, *Applied Physics Letters*, **84**, 2004, 3603.
- [5] S. Majumdar, P. Banerji, *Journal of Applied Physics*, **107**, 2010, 063702.
- [6] I. Salaoru, P. Buffat, D. Laub, A. Amariei, N. Apetroaei, M. Rusu, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, **8**, 2006, 936.
- [7] A. Tsukazaki, A. Ohtomo, T. Onuma, M. Ohtani, T. Makino, M. Sumiya, *Nature Materials*, **4**, 2005, 42.
- [8] K. Arshak, O. Korostynska, *IEEE Sensors Journal*, **3**, 2003, 717.
- [9] K. Arshak, O. Korostynska, *Sensor Review*, **15**, 2003, 1.
- [10] E. Colby, G. Lum, T. Plettner, J. Spencer, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, **49**, 2002, 2857.
- [11] G. Molenberghs, K. Arshak, O. Korostynska, *Sensor Review*, **25**, 2006, 1.
- [12] K. Arshak, O. Korostynska, *Materials Science and Engineering: B*, **133**, 2006, 1.
- [13] A. Ibrahim, L. Soliman, *Radiation Physics and Chemistry*, **53**, 1998, 469.
- [14] K. Arshak, O. Korostynska, *Sensors*, **2**, 2002, 347.
- [15] T. Maity, S. Sharma, *Bulletin of Materials Science*, **31**, 2008, 841.
- [16] T. Maity, S. Sharma, *Effects of gamma irradiation on electrical, optical and structural properties of tellurium dioxide thin films*, 2011.
- [17] V. Senthil-Srinivasan, M. Patra, V. Choudhary, A. Pandya, *Journal of optoelectronics and Advanced Materials*, **9**, 2007, 3725.
- [18] S. Sharma, T. Maity, *Bulletin of Materials Science*, **34**, 2011, 61.
- [19] B. Babu, K. Mohanraj, S. Chandrasekar, N. Senthil Kumar, B. Mohanbabu, *Nanoscale Reports*, **1**, 2018, 26.
- [20] W. Yang, S. Rossnagel, J. Joo, *Vacuum*, **86**, 2012, 1452.
- [21] J. Sengupta, R. Sahoo, C. Mukherjee, *Materials Letters*, **83**, 2012, 84.

- Neutron Source HBS*, Springer; 2018, 127-45.
- [29] H. Erramli, J. El Asri, *Gamma Rays: Applications in Environmental Gamma Dosimetry and Determination Samples Gamma-Activities Induced by Neutrons*, Use of Gamma Radiation Techniques in Peaceful Applications, 2019;109.
- [30] B. Anandh, A.S. Ganesh, R. Thangarasu, R. Sakthivel, R. Kannusamy, K. Tamilselvan, *Oriental Journal of Chemistry*, **34**, 2018, 1619.
- [31] M.N.H. Mia, M.F. Pervez, M.K. Hossain, M.R. Rahman, M.J. Uddin, *Results in Physics*, **7**, 2017, 2683.
- [32] S. Nobakht, R. Talebzadeh, S. Sobhanian, H. Naghshara, M. Kouhi, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **15**, 2021, 1.
- [22] F. Wang, M. Wu, Y. Wang, Y. Yu, X. Wu, L. Zhuge, *Vacuum*, **89**, 2013, 127.
- [23] S. Aldawood, M. AlGarawi, M.A. Shar, S.M. Ali, *Journal of King Saud University-Science*, **32**, 2020, 2629.
- [24] S.A. Kakil, B.N. Sabr, L.S. Hana, T.A.H. Abbas, S.Y. Hussin, *Journal of the Korean Physical Society*, **72**, 2018, 561.
- [25] J.H. Lee, K. Oh, K. Jung, K. Wilson, M.J. Lee, *Metals*, **10**, 2020, 437.
- [26] A. Alyamani, N. Mustapha, T. Alkhurairji, H. Idriss, *Journal of Ovonic Research*, **15**, 2019, 301.
- [27] R. Qindeel, *Results in Physics*, **7**, 2017, 807.
- [28] J.P. Dabruck. *Prototype Moderator at the AKR-2 Training Reactor, Target Station Optimization for the High- Brilliance*