ساخت حس‌گر گازی از سیلیسیم متخلخل و بررسی حساسیت آن نسبت به گاز O_2

محمد اسماعیل عظیم عراقی: دانشگاه تربیت معلم
سید محمد حسن فیض، رهبر روغنی: دانشگاه اصفهان

چکیده

در این مقاله نمونه‌های مختلفی از سیلیسیم نوع p به روش آنودی‌سازی الکتروشیمیایی در محلول اسید فلوریدریک (HF) متخلخل شد. معلوم گردید که بسته به مقدار غلظت HF چگالی جریان آنودی سازی و زمان سونش میزان متخلخل برروی سیلیسیم متفاوت بود. سپس یک اتصال اهمی آلومینیوم بر روی یک طرف سیلیسیم نوع p (طرف غیرمتخلخل) و یک اتصال از طلا بر روی طرف متخلخل آن ساخته شد. این نمونه‌ها به عنوان یک حس‌گر مورد استفاده قرار گرفت. برای مشخصه I-V نمونه‌های مختلف رسم شد. نتایج تجربی مبین آن است که مشخصه I-V کاملاً به جریان اکسیژن حساس است. به همین سبب از این خاصیت می‌توان برای ساخت حس‌گر گازی استفاده کرد.

مقدمه

سیلیسیم متخلخل به روش الکتروشیمیایی با انحلال آنودی سیلیسیم در محلول اسید هیدروفلوریک (HF) به دست می‌آید. از زمان کشف آن توسط ترنر[١] [١] تا کنون بر روی این ماده بررسی‌های زیادی انجام شده است. به لحاظ این که این ماده خاصیت لومینسانی قوی در دمای اتاق نشان داده شده است، آینده خوبی برای کاربرد در دستگاه‌های اپتوالکتروتیک[٢] دارد. از کاربردهای دیگر سیلیسیم متخلخل، استفاده از آن در ساخت حس‌گرهای ریز[٢] [٣] است.

بسته به شرایط الکترولیز عموماً یک بافت متخلخل به قطرهای ٢ تا ١٥ نانومتر و چگالی متغیر از ٢٠ تا ٨٠% در بستر اصلی آن به وجود می آید. نتایج تجربی مشخصه‌های الکتریکی لایه‌های سیلیسیم متخلخل نوع p نشان می‌دهد که رسانش این ماده شدیداً تحت تأثیر حالت‌های سطحی قرار دارد[٣]-[٦]. همچنین اندرسون و همکارانش[٧] حساسیت مشخصه I-V سیلیسیم متخلخل به رطوبت و متانل گزارش کردند.

با توجه به این که در حال حاضر سطح آلودگی‌های محیطی رو به افزایش است، سیلیسیم متخلخل به عنوان یک ماده خوب و ارزان نسبت به گازهای آلاینده محیط زیست از خود حساسیت زیادی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی : آنودی سازی الکتروشیمیایی، سیلیسیم متخلخل، حس‌گر گازی

١- Turner ٢ -Microsensors

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

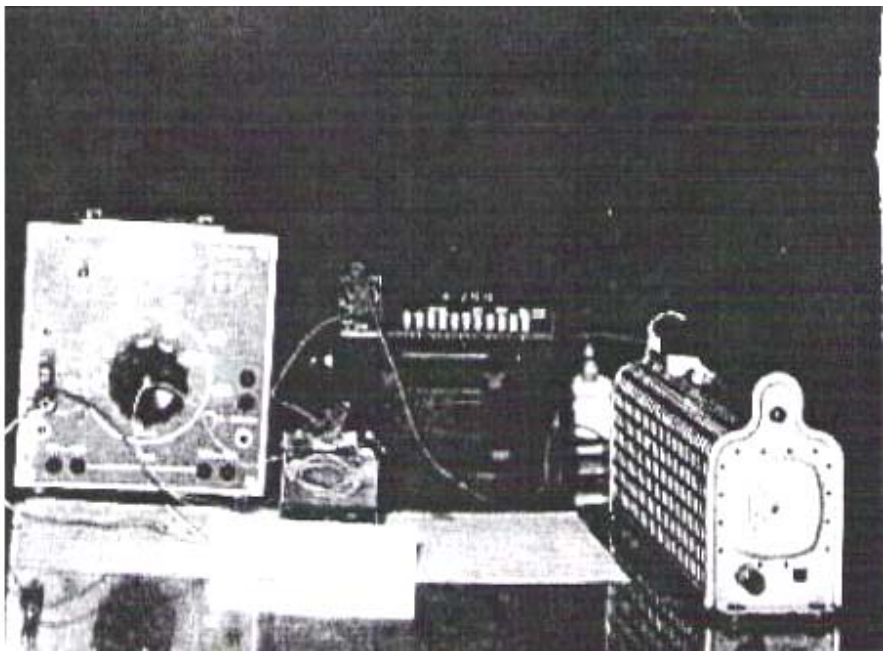
در این مقاله ابتدا روش ساخت یک حس‌گر گاز اکسیژن بیان می‌شود، سپس مشخصه I-V چند نمونه طلا-سیلیسیم متخلخل نوع p- آلومینیوم را که در آزمایشگاه ساخته شده است با وجود گاز اکسیژن و بدون آن بررسی شده است.

کار تجربی

روش ساخت سیلیسیم متخلخل

یک اتصال اهمی آلومینیوم به عنوان الکترود بر روی یک طرف پولک بزرگ سیلیسیم نوع p به ابعاد ۱۰ cm ×۱۰ cm به روش تبخیر در خلأ و در فشار ۲۵×۱۰^{-٤} mbar نشانده شد. سپس پولک مذکور با الماس مخصوص به قطعات کوچک‌تر ۱cm×۱cm برش داده شد. پولک‌های اخیر با اعمال چگالی جریان $۱۰mA/cm^2$ تا $۲۰mA/cm^2$ با انحلال آنودی سیلیسیم در محلول الکترولیتی که از HF(۴۰%) و اتانول(۹۶%) و آب مقطر تشکیل شده بود، متخلخل شد. شکل ۱ مدار ایجاد سیلیسیم متخلخل را نشان می‌دهد.

عوامل مؤثر در کیفیت نمونه‌ها از جمله غلظت محلول، زمان واکنش و چگالی جریان اعمال شده که در تهیه ده نمونه سیلیسیم متخلخل به کار رفته در جدول۱ ارائه شده است.



شکل ۱- مدار مربوط به سونش الکتروشیمیایی سیلیسیم

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

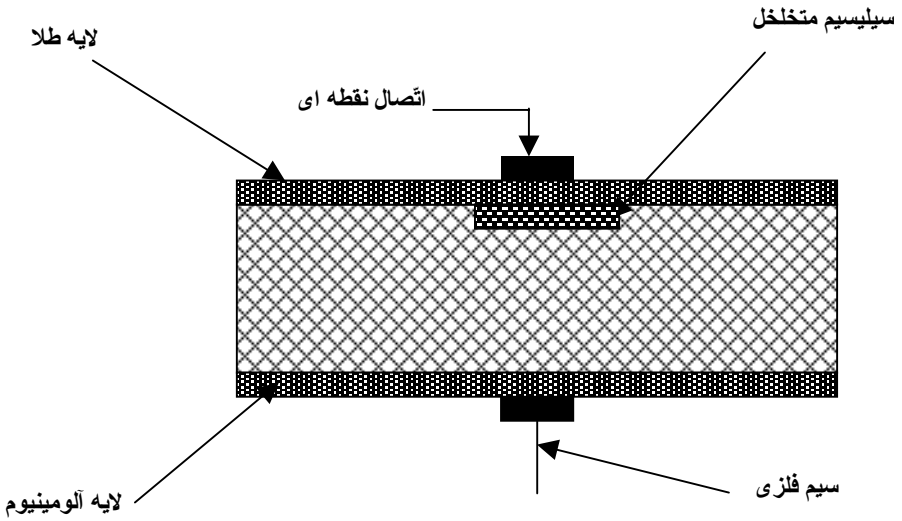
جدول ۱-

شماره نمونه	نوع ناخالصی	غلظت محلول $HF : C_2H_5OH : H_2O$	مساحت مورد هدف اسید	زمان انجام واکنش (ثانیه)	چگالی جریان (mA/cm^2)
۱	P	۱:۱:۱	۱Cm^2	۱۸۰۰	۱۰
۲	P	۲:۲:۱	۱Cm^2	۱۸۰۰	۱۰
۳	P	۲:۲:۱	۱Cm^2	۱۸۰۰	۲۰
۴	P	۱:۱:۱	۱Cm^2	۲۷۰۰	۱۰
۵	P	۱:۳:۱	۱Cm^2	۱۸۰۰	۱۰
۶	P	۱:۲:۲	۱Cm^2	۲۷۰۰	۱۰
۷	P	۲:۲:۱	۱Cm^2	۲۷۰۰	۲۰
۸	P	۱:۱:۱	۱Cm^2	۲۷۰۰	۲۰
۹	P	۲:۲:۱	۱Cm^2	۱۸۰۰	۱۰
۱۰	P	۰:۴:۱	۱Cm^2	۱۸۰۰	۱۰

ساخت اتصال طلا- سیلیسیم متخلخل

یک لایه نازک طلا به مساحت تقریبی ۱Cm^2 به روش تبخیر در خلأ در فشار mbar ۲۵×۱۰^{-۴} بر روی سطح سیلیسیم را فراهم می‌کند . سپس دو سیم مسی به قطر ۳/. میلی‌متر به دو طرف نمونه ساخته شده با استفاده از چسب نقره چسبانده شد. به این ترتیب حس‌گر گازی ساخته و تکمیل شد.

در شکل ۲ تصویر یک نمونه ساخته شده آمده است.

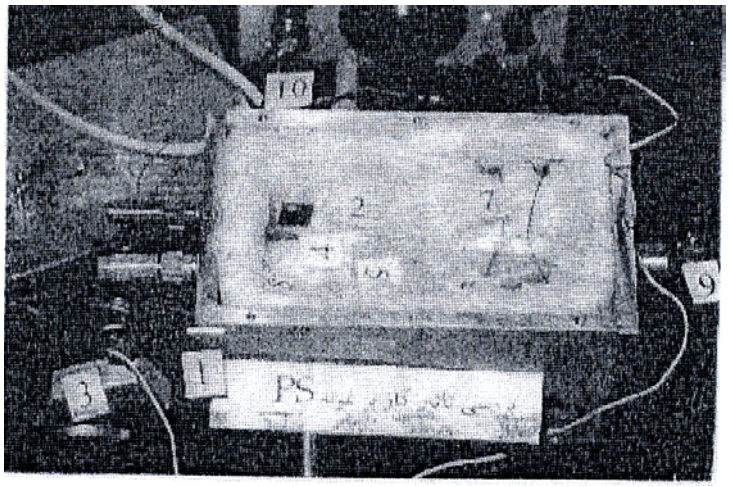


شکل ۲- نمونه سیلیسیم متخلخل آماده برای قرار دادن در مدار

دستگاه آزمون گاز O_2

شکل ۳ دستگاهی را نشان می‌دهد که در آزمایشگاه برای بررسی حساسیت حس‌گر نسبت به گاز O_2 به کار گرفته شده است.

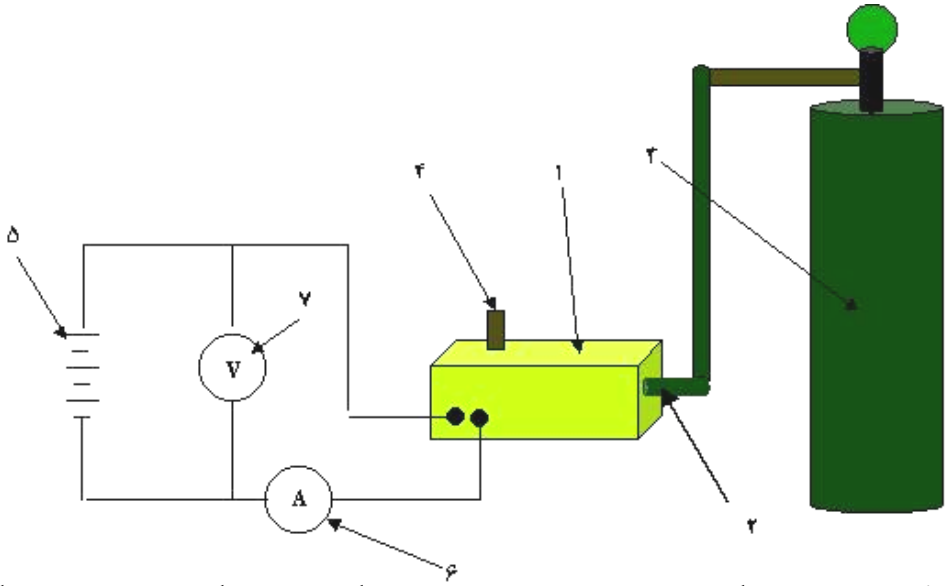
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل۳- نمای داخل سلول گاز ۱- سلول۲- نمونه سیلیسیم متخلخل ۳- ترموستات ۴- قسمت حساس ترموستات۵- مقوای نسوز ۶- گرمکن برقی۷- فیش‌های رابط گرمکن برقی۸- پتوی نسوز ۹-ورودی گاز

رسم منحنی ولتاژ- جریان (I-V)

مشخصه الکتریکی در اطاقک تاریک دستگاه آزمون که از آلومینیوم با ابعاد ۲۰cm×۱۰cm×۱۰cm ساخته شده بود انجام شد. مقادیر I و V توسط مدار شکل ۴ در محیط معمولی و در تاریکی در دمای $۵۰^{\circ}C$ و در همین دما در محیط گاز اکسیژن برای نمونه‌های مختلف اندازه‌گیری شد. در این مدار از یک منبع تغذیه مستقیم ۲۵ ولتی، یک الکترومتر دیجیتال برای اندازه گیری جریان استفاده شد. قطب مثبت منبع تغذیه به الکترود طلایی (سطح متخلخل) و قطب منفی آن به الکترود آلومینیومی متصل شد. جریان به کار رفته در گستره ۰/۱ تا ۲۰۰ میلی آمپر بود(شکل۴).



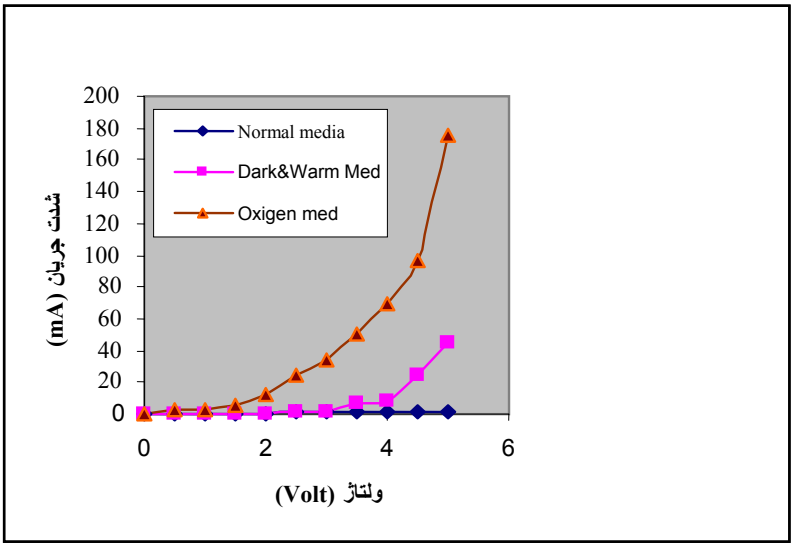
شکل ۴- مدار آزمایش بررسی اثر گاز بر روی نمونه‌های متخلخل ۱-سلول گاز ۲-ورودی گاز به سلول ۳-کپسول گاز اکسیژن۴ -خروجی گاز۵- منبع تغذیه۶- ولت سنج ۷-آمپر سنج

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

بحث و تحلیل نتایج تجربی

مشخصه I-V نمونه‌ها

مشخصه I-V نمونه شماره ۱۰، در هوا و در دمای $50^{\circ}C$ و در محیط تاریک در حضور گاز اکسیژن در دمای $50^{\circ}C$ در شکل ۵ آمده است.



شکل۵- نمودار مشخصه ولتاژ -جریان برای نمونه ۱۰ (ر.ک. جدول ۱)، در این جا مشاهده می‌کنیم که تأثیر گاز بر روی این نمونه بسیار زیاد بوده و جریان به طور محسوسی افزایش یافته است

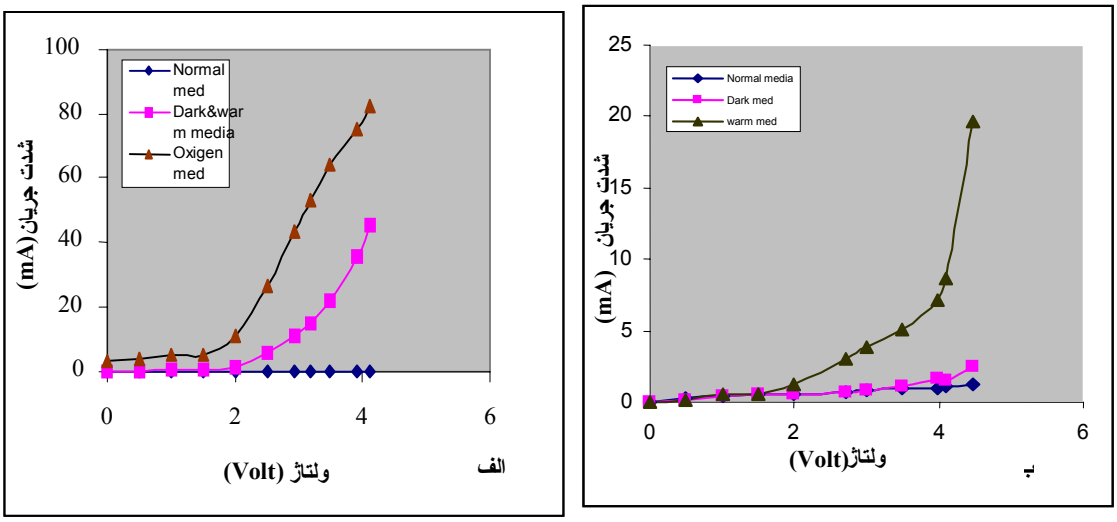
مشاهده گردید که در پیش ولت مستقیم ۵ ولت تغییرات جریان در غیاب گاز اکسیژن و در حضور گاز اکسیژن حدود ۴ برابر بود. این نتایج با نتایجی که استیونارد[۱] و درسمس[۲] به دست آوردند، مطابقت داشت[٤].

اثر زمان آنودی سازی

از مقایسه مشخصه I-V برای دو نمونه ۱و ۴ که در آن دو غلظت محلول الکترولیت یکسان است و فقط زمان آنودی سازی در نمونه ۱، ۱۸۰۰ ثانیه و در نمونه ۴، ۲۷۰۰ ثانیه (طبق جدول۱) است. می‌توان گفت که افزایش زمان آنودیزاسیون باعث افت شدت جریان در نمونه و در نتیجه کاهش حساسیت نمونه نسبت به گاز اکسیژن شده است. به نظر می‌رسد که افزایش بیش از حد زمان سونش باعث تخریب قسمتی از دیواره‌های ساختار ستونی سطح متخلخل شده و در نتیجه جذب کمتر گاز اکسیژن، باعث کاهش جریان می‌شود.

۱-Stiavnard ۲ -Dresmes

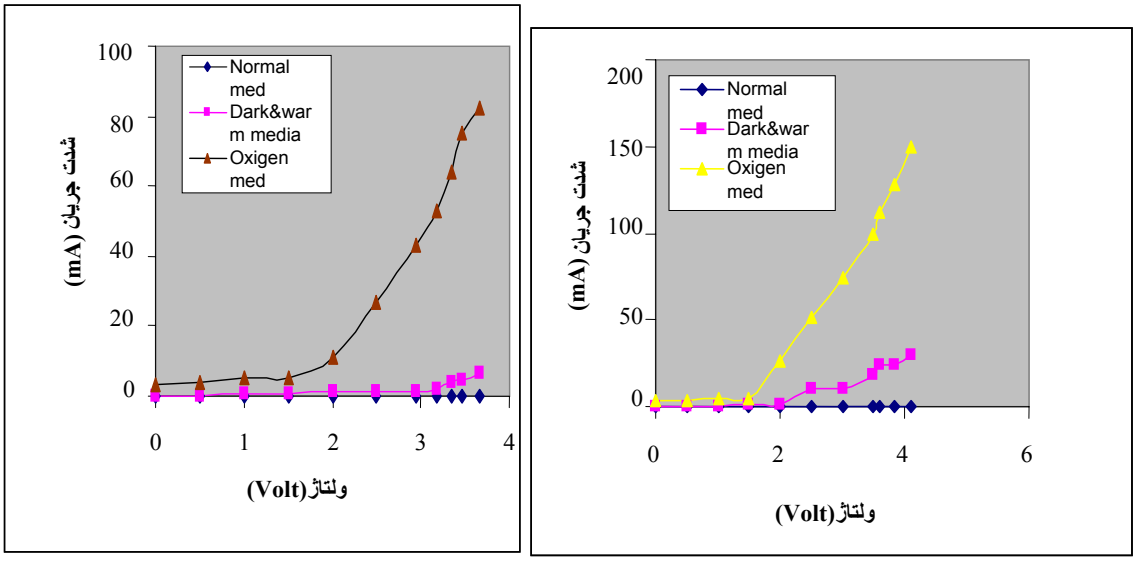
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل۶- مقایسه اثر زمان آنودی‌سازی در نمونه ۱ (الف) و ۴ (ب)

اثر چگالی جریان الکتریکی سونش الکتروشیمیایی

با مراجعه به جدول۱ و مشخصه I-V دو نمونه ۲و ۳ که در آن غلظت محلول الکترولیت و زمان سونش الکتروشیمیایی یکسان است اما چگالی جریان در نمونه ۲ نصف چگالی جریان در نمونه ۳ است می‌توان دریافت که افزایش چگالی جریان سونش باعث افت شدت جریان الکتریکی در حضور گاز اکسیژن می‌شود. شاید افزایش چگالی جریان باعث از بین رفتن دیواره‌های سطح متخلخل شده و منجر به جذب کمتر اکسیژن و در نتیجه کاهش هدایت الکتریکی شود.

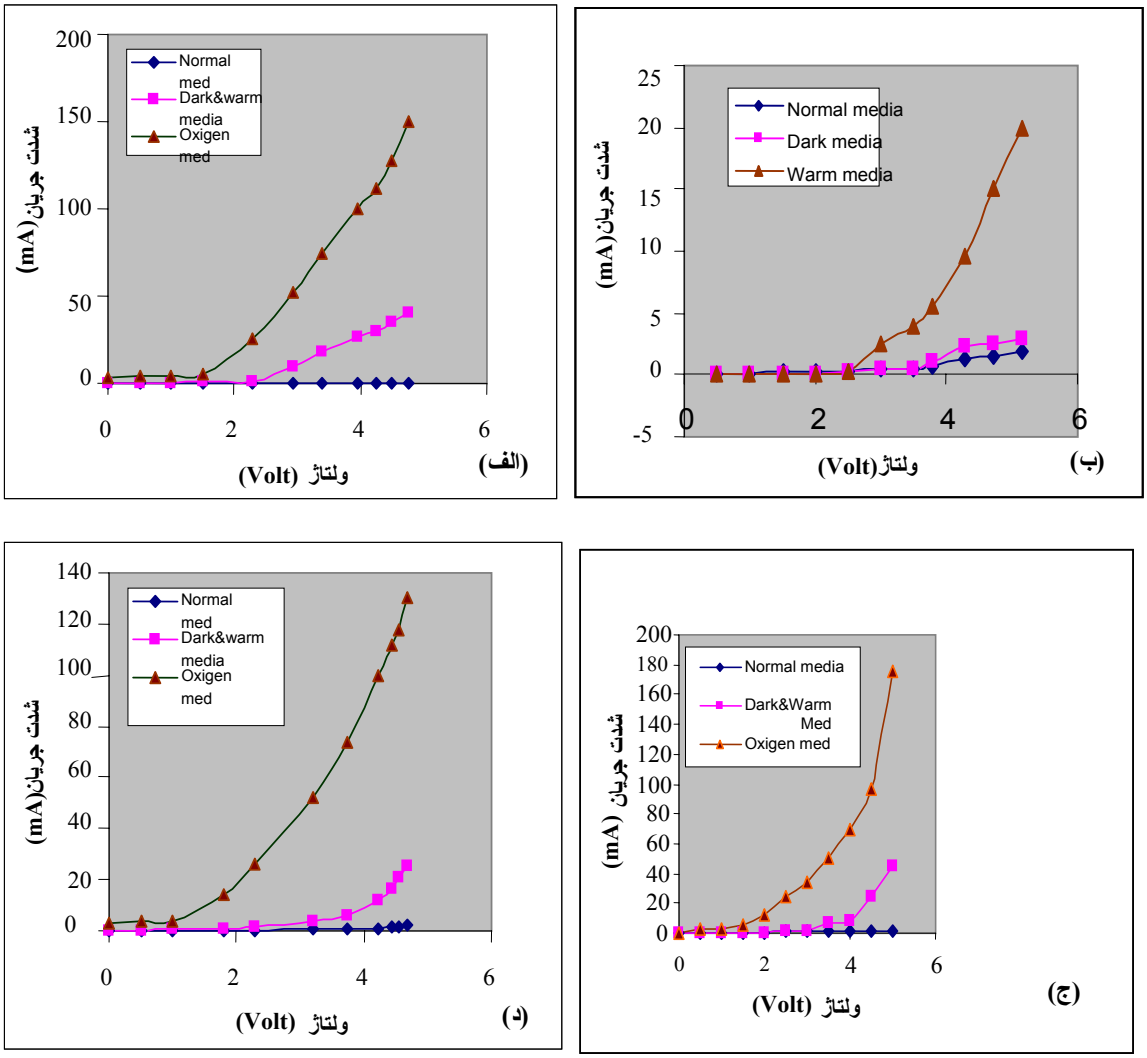


شکل ۷- مقایسه دو نمونه و بررسی اثر چگالی جریان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

اثر غلظت

منظور از غلظت ، درصد نسبت‌های ترکیبی اسید و الکل و آب برای تهیه محلول الکترولیت است. با مراجعه به جدول۱ مشهود است برای نمونه‌های ۱و ۲و۵ و ۱۰درشرایط یکسانی از مدت زمان آنودیزاسیون t = ۱۸۰۰s و چگالی جریان$J=۱۰mA/cm^2$ و مساحت هدف اسید $A = ۱\ cm^2$ تهیه شده‌اند و تنها غلظت‌های محلول الکترولیت آن‌ها با هم متفاوت است. با مقایسه مشخصه I-V آن‌ها در محیط اکسیژن در می‌یابیم که افزایش غلظت کاتالیزور (آب و الکل) در محلول الکترولیت باعث می‌شود که تخلخل در نمونه سیلیسیم افزایش یابد و در نتیجه با جذب گاز اکسیژن هدایت الکتریکی بالا رود.



شکل ۸ـ مقایسه نمونه‌های ۱ (الف) و ۲ (ب) و ۵(ج) و ۱۰ (د) و بررسی اثر غلظت محلول الکترولیت بر روی آن‌ها

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

احتمال موجود این است که یک واکنش شیمیایی بین پیوندهای آویزان[۸] مولکول‌های جذب شده در داخل حفره‌ها به وقوع می پیوندد بر طبق این احتمال مولکول‌هایی که جذب سطحی شده وقتی که اکسیده می شوند ،یک اثر اصلاحی در پیوندهای آویزان به وجود می‌آورند که رسانش را افزایش می‌دهد[٤].

نتیجه گیری و پیشنهاد

نمونه‌های مختلف سیلیسیم متخلخل در شرایط مختلف ترکیبی ساخته شد. رفتار الکتریکی آن‌ها در محیط عادی و در حضور گاز اکسیژن مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها نسبت به گاز اکسیژن از خود حساسیت زیادی نشان دادند و همان طور که توسط درسمس و همکارانش [٤] بیان شده است، طبیعت سطح متخلخل در سیلیسیم باعث افزایش حساسیت حس‌گرنسبت به گاز اکسیژن است. این نوع حس‌گر مزیت فراوانی دارد که از آن جمله می توان سادگی ساخت و ارزانی آن را مورد توجه قرار داد.

در خاتمه پیشنهاد می‌شود رفتار الکتریکی این نمونه‌ها برای گازهای دیگر نظیر هلیم، فلوئور، نیتروژن، اکسید نیتروژن، هیدروژن، آمونیاک و ... بررسی شود. همچنین اثر رطوبت که بر روی تغییر جریان الکتریکی بررسی شود.

منابع

1. D. R. Turner, J. Electrochem. Soc 105 (1958) 402.

2. L. T. Canham. App. Phys Lett. 57 (1990) 1046-1048.

3. R. C. Anderson. R. S. Muller and C. W. Tobias. J. Electrochem. Soc. 138 (1991) 3406.

4. D. Stievnard and Dresmes Appl. Phys. Lett. 63 (1993) 180.

6. C. Cadet, D. Dresmes, D. Vuillaume and D. Stievnard, , Appl. Phys. Lett. 64 (1994) 2

7. R. C. Anderson, R. S. Muller C.W. Tobias, Sensors Actuators, A21-23 (1990) 835

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]