

## چرخش لایه آزاد نانوسیال دی اکسید تیتانیوم در میدان الکتریکی خارجی

مهسا سلیمانی تبار، رضا رسولی، رضا شیرسوار و سعید ملایی

گروه فیزیک، دانشگاه زنجان، زنجان

پست الکترونیکی: r\_rasuli@znu.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۱؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵)

### چکیده

در این مقاله اثر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بر پاسخ لایه آزاد سیال به میدان الکتریکی خارجی بررسی شده است. اعمال میدان الکتریکی خارجی به لایه سیال حامل جریان موجب چرخش لایه می شود، که ناشی از پاسخ بار سطحی لایه به میدان الکتریکی است. به منظور بررسی اثر بار الکتریکی بر چرخش، نانوسیال دی اکسید تیتانیوم در غلظت های مختلف مطالعه شد. نتایج نشان داد حضور نانوذرات در سیال موجب حدوداً دو برابر شدن سرعت چرخش آن می شود. همچنین اثر تابش فرابنفش بر سرعت چرخش سیال بررسی و مشخص شد که تأثیر چندانی بر سرعت چرخش ندارد. در نهایت زمان لازم برای رسیدن به حداکثر سرعت چرخش لایه های نانوسیال اندازه گیری و مقایسه شد.

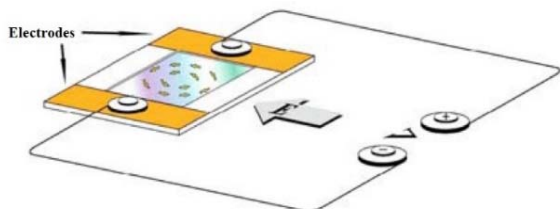
واژه های کلیدی: میدان الکتریکی، نانوذرات اکسید تیتانیوم، لایه نازک سیال

### ۱. مقدمه

و مشخص شده است که در صورت کافی بودن شدت جریان و میدان الکتریکی، همه سیال های قطبی و غیرقطبی در این شرایط شروع به چرخش می کنند [۳].

از طرفی نانوسیال ها تاکنون به صورت گسترده ای مورد مطالعه قرار گرفته اند. افزودن نانوذرات به یک سیال می تواند خواص الکتریکی، گرمایی، اپتیکی، مغناطیسی و شکستنی آن را دستخوش تغییر کند [۴-۶]. در این صورت پاسخ سیال به میدان الکتریکی خارجی نیز، متأثر از نانوذرات خواهد بود. هنگامی که نانوذرات اکسید تیتانیوم در درون آب قرار می گیرد مولکول های آب در اثر برهم کنش با پیوندهای آویزان اتم های

در دهه های اخیر لایه های نازک به طور گسترده ای مورد توجه بوده اند [۱]. در این میان لایه های نازک سیال به دلیل خواص جالب توجه اخیراً مورد مطالعه قرار گرفته اند [۲]. مشاهده شده است که لایه نازک شاره های قطبی مانند آب پاسخ های مختلفی به میدان الکتریکی خارجی از خود نشان می دهد [۲ و ۳]. همچنین گزارش شده است که با گذراندن چگالی جریان الکتریکی (J) از درون لایه آزاد سیال و اعمال میدان الکتریکی (E) عمود بر آن، چرخشی در لایه در جهت  $E \times J$  مشاهده می شود [۲ و ۳]. این موضوع در سیال های مختلف بررسی شده



شکل ۱. (رنگی در نسخه الکترونیکی) نمایی از چیدمان مورد استفاده جهت چرخش نانوسیال.

مس لایه‌نشانی شده است و به منظور انجام آزمایش قاب دایره‌ای شکل با قطر ۵ میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. لایه‌های آزاد سیال با کشیدن میله آغشته به نانوسیال مورد نظر بر روی روزنه موجود در قاب تهیه شد. سپس جهت ایجاد جریان، بر لایه آماده شده اختلاف پتانسیل ۲۵ ولت اعمال شد. لایه حامل جریان در یک میدان الکتریکی با شدت  $۱/۶ \text{ kV/cm}$  موازی با سطح لایه مطابق شکل ۱ قرار گرفت. نانوسیال مورد مطالعه از پراکنده کردن نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم با اندازه ذرات ۲۰-۶۰ نانومتر در آب دی‌یونیزه با غلظت‌های جرمی ۰/۰۰۸، ۰/۰۱۶، ۰/۰۲۵، ۰/۰۳۳ گرم بر لیتر تهیه شد. جهت پخش یکنواخت نانوذرات در سیال، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه تحت امواج اولتراسونیک قرار گرفت و با اضافه نمودن مقدار ثابتی از روکشگر جهت تشکیل لایه آزاد آماده گردید. در تمام آزمایش‌ها، از چرخش لایه حامل جریان در میدان الکتریکی  $۱/۶ \text{ kV/cm}$ ، توسط دوربینی با سرعت ۳۰ فریم بر ثانیه فیلم‌برداری شد. با استفاده از برنامه سرعت‌سنجی تصویری ذرات<sup>۱</sup> سرعت چرخش سیال در نقاط مختلف لایه محاسبه شد. جهت بررسی تأثیر تابش فرابنفش بر چرخش لایه آزاد، نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در معرض تابش پرتوی فرابنفش قرار گرفتند.

### ۳. بحث و نتایج

شکل ۲ سمت راست تصویری از چرخش لایه آزاد حامل جریان در میدان الکتریکی را نشان می‌دهد. همان گونه که ملاحظه می‌شود ضخامت‌های مختلف لایه منجر به رنگ‌های متفاوتی می‌شوند. جابه‌جایی این رنگ‌ها می‌تواند در

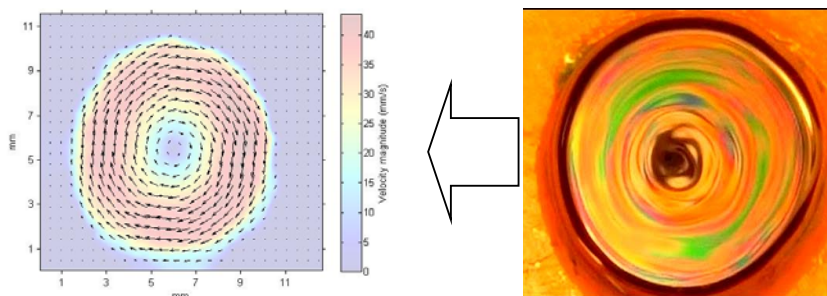
سطح نانوذرات با آن چسبیده و موجب ایجاد لایه هیدرودینامیک در اطراف آن می‌شوند. بسته به اسیدیته مایع و جنس نانوذره، ذرات می‌توانند بار منفی یا مثبت به خود بگیرند [۷ و ۸]. نانوذرات در درون سیال می‌توانند با ایجاد تغییراتی در خاصیت آن مانند و شکسانی، رسانندگی الکتریکی، زبری سطح و... در نحوه پاسخ سیال به میدان خارجی تأثیر گذار باشند [۹]. آزمایش‌های اندازه‌گیری پتانسیل زتا نشان داده است که نانو ساختار اکسید تیتانیوم در آب می‌تواند تا حدود  $۲۵ \text{ mV}$  باردار شوند و هدایت الکتریکی را تا حدود ۸۰ میکرو زیمنس افزایش دهند [۸]. بنابراین با توجه به این که نانوذرات محلول در سیال می‌توانند تحت شرایطی باردار شوند، نحوه پاسخ لایه سیال حامل جریان در حضور میدان الکتریکی خارجی متفاوت خواهد بود. درک ساز و کار چرخش سیال در اثر میدان الکتریکی از چالش‌های حاضر پژوهشگران است [۱۰]. به عنوان مثال نصیری و همکاران نشان داده‌اند که این چرخش سیال ناشی از پاسخ بار سطحی سیال به میدان الکتریکی خارجی است [۱۰]. در پژوهشی دیگر شیروا و همکاران به بررسی نظریه چرخش شاره الکترو هیدرودینامیکی پرداخته‌اند [۱۱]. تغییر بار سیال با حضور نانوذرات باردار می‌تواند در فهم ساز و کار مربوط به پاسخ سیال مفید واقع شود.

در این مقاله اثر نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر چرخش لایه آزاد سیال حامل جریان در میدان الکتریکی خارجی بررسی شده است. بدین منظور اثر پارامترهای غلظت و تابش اشعه فرابنفش بر نانوسیال بررسی شد. نتایج نشان داد حضور نانوذرات در سیال موجب افزایش سرعت چرخش می‌شود و تقریباً مستقل از غلظت نانو ذرات است. همچنین اثر تابش فرابنفش بر سرعت چرخش سیال بررسی شد و مشخص شد که تأثیر چندانی بر سرعت چرخش ندارد. در نهایت زمان لازم برای رسیدن به حداکثر سرعت چرخش لایه‌های نانوسیال اندازه‌گیری و مقایسه شد.

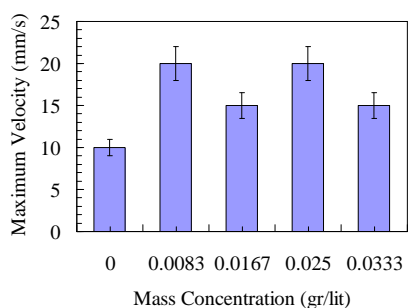
### ۲. مواد و روش آزمایش

برای تشکیل لایه آزاد از قابی عایق استفاده گردید که سطح آن با

۱. Particle Image Velocimetry



شکل ۲. (رنگی در نسخه الکترونیکی) (راست) عکس چرخش لایه آزاد حامل جریان در میدان الکتریکی  $1.6 \text{ kV/cm}$ ، (چپ) نمودار سرعت سنجی نانو سیال دی اکسید تیتانیوم.



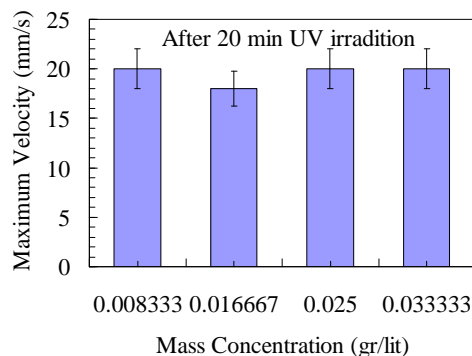
شکل ۳. (رنگی در نسخه الکترونیکی) بیشینه سرعت چرخش نانو سیال دی اکسید تیتانیوم بر حسب غلظت نانوذرات.

اما مقایسه سرعت بیشینه چرخش نانو سیال با سیال بدون نانوذره افزایش حدود دو برابری سرعت بیشینه را نشان می دهد. گزارش شده است که وقتی سیال حاوی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم تحت تابش پرتوی فرابنفش قرار می گیرد، خاصیت فوتوکاتالیستی موجب تولید زوج الکترون حفره می شود [۱۲]. این امر موجب فوق آبدوست شدن نانوذرات دی اکسید تیتانیوم می شود و می تواند وشکسانی سیال را تغییر دهد [۹]. از آنجا که وشکسانی سیال از عوامل مهم در چرخش آن است اثر تابش فرابنفش روی چرخش نانو سیال آماده شده بررسی شد. شکل ۴ بیشینه سرعت چرخش را پس از تابش پرتوی فرابنفش نشان می دهد. همان گونه که ملاحظه می گردد که تابش فرابنفش تأثیر چشمگیری بر سرعت چرخش لایه ندارد. بنابراین وشکسانی سیال و نیز تولید الکترون و حفره در آن تأثیر زیادی بر سرعت چرخش ندارد.

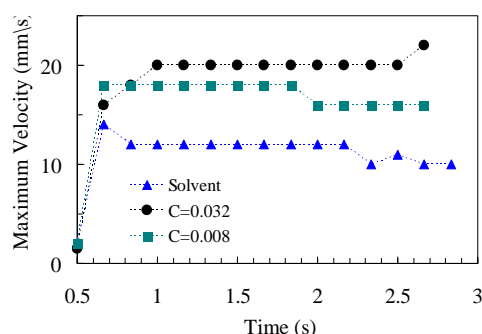
همچنین مدت زمان لازم برای رسیدن به سرعت نهایی چرخش اندازه گیری شد. با استفاده از فیلم گرفته شده تغییرات

اندازه گیری سرعت چرخش لایه مورد استفاده قرار گیرد [۳]. فیلم های گرفته شده از فرایند آزمایش ابتدا به عکس تبدیل شد و سپس سرعت چرخش در نقاط مختلف محاسبه شد که در شکل ۲ سمت چپ نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می شود سرعت چرخش سیال در وسط و لبه ها کمتر از بقیه جاها است. همچنین بیشینه سرعت چرخش حدود  $40$  میلی متر بر ثانیه است.

با استفاده از عکس حاصل از فیلم برداری سرعت بیشینه برای نانو سیال در غلظت های مختلف محاسبه شده است. شکل ۳ بیشینه سرعت خطی چرخش سیال را به همراه خطای آماری تکرار آزمایش در غلظت های مختلف نانوذره دی اکسید تیتانیوم نشان می دهد. سرعت چرخش بیشینه، بلافاصله بعد از رسیدن حالت پایا اندازه گیری شده است. همان گونه که ملاحظه می شود سرعت چرخش در غلظت های مختلف تفاوت چندانی ندارد و بنابراین می توان نتیجه گیری کرد که پارامتر غلظت نانوذرات تأثیر قابل ملاحظه ای بر بیشینه سرعت چرخش ندارد.



شکل ۴. (رنگی در نسخه الکترونیکی) بیشینه سرعت چرخش نانوسیال بر حسب غلظت برای نانوسیال دی‌اکسید تیتانیوم بعد از ۲۰ دقیقه تابش فرابنفش.



شکل ۵. (رنگی در نسخه الکترونیکی) نمودار سرعت بیشینه چرخش نانوسیال بر حسب زمان.

می‌دهد که بیشینه سرعت چرخش لایه‌های نانوسیال دی‌اکسید تیتانیوم، مستقل از غلظت است. همچنین تابش فرابنفش بر نانوسیال در سرعت چرخش مؤثر نیست و سرعت چرخش نانوسیال نسبت به سیال خالص بیشتر است و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم موجب افزایش سرعت چرخش تا حدود دو برابر نسبت به سیال خالص می‌شوند. علاوه بر این زمان لازم برای رسیدن سیال به سرعت بیشینه برای نمونه‌های مختلف تقریباً یکسان است.

زمانی سرعت بیشینه نانوسیال دی‌اکسید تیتانیوم در غلظت ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۳۳ گرم بر لیتر محاسبه شد. همان گونه که شکل ۵ نشان می‌دهد زمان لازم برای رسیدن به حداکثر سرعت در محدوده دقت اندازه‌گیری در نمونه‌های مورد بررسی تقریباً یکسان است.

#### ۴. نتیجه‌گیری

نمودارهای سرعت سنجی به دست آمده از آزمایش‌ها، نشان

#### مراجع

5. A Tongkratoke, A Pramuanjaroenkij, A Chaengbamrung, and S Kakac, *Comput. Therm. Sci.* **6** (2014) 1.
6. M Sheikholeslami, D D Ganji, M Y Javed, and R Ellahi, *J. Magn. Magn. Mater.* **374** (2015) 36.
7. W Yu and H Xie, *J Nanomat.* **2012** (2012) 1.
8. I S Grover, S Singh, and B Pal, *Appl. Surf. Sci.* **280** (2013) 366.
1. A Oron, S H Davis, and S G Bankoff, *Rev. Mod. Phys.* **69**, 3 (1997) 931.
2. A Amjadi, R Shirsavar, N H Radja, and M R Ejtehadi, *Microfluid. Nanofluid.* **6**, 5 (2009) 711.
3. R Shirsavar, A Amjadi, A Tonddast-Navaei, and M R Ejtehadi, *Exp. Fluids* **50**, 2 (2011) 419.
4. R Prasher, D Song, J Wang, and P Phelan, *App. Phys. Lett.* **89**, 13 (2006) 133108.

- Microfluid. Nanofluid.* **19** (2015) 133.
11. E V Shiryaeva, V A Vladimirov, and M Y Zhukov, *Phys. Rev. E* **80** (2009) 041603.
12. F M Pesci, G Wang, D R Klug, Y Li, and A J Cowan, *J. Phys. Chem. C* **117** (2013) 25837.
9. S Sen, V Govindarajan, C J Pelliccione, J Wang, D J Miller, and EV Timofeeva, *American Chemical Society, Appl. Mater. Interfaces* **7** (2015) 20538.
10. M Nasiri, R Shirsavar, T Saghaei, and A Ramos,