

شبیه‌سازی فیزیکی جریان هوا در پیرامون تپه سه‌بعدی

عباسعلی علی‌اکبری‌بیدختی^{*}، تاج‌الدین بنی‌هاشم^{*} و آرمین دهقان^{*}

^{*}موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵.

چکیده

در این مطالعه، جریان تلاطمی در اطراف تپه‌ای گوسی شکل و در تونل آب مداربسته، شبیه‌سازی شده است و با استفاده از سرعت‌سنج فیلم داغ، سرعت و کمیت‌های تلاطمی (مانند شدت و شار تلاطمی) در قسمت‌های مختلف مدل، اندازه‌گیری شده است. در تحلیل این اندازه‌گیری‌ها، پربندهای انحراف سرعت میانگین و افت و خیز سرعت پربندی، همچنین نیمرخ شدت و شار تلاطمی ارائه شده است و نتایج آن با نمونه‌های مشابهی از کارهای دیگران که در این زمینه انجام شده، مطابقت بسیار خوبی را نشان می‌دهد. همچنین وجود کاوک‌ها در بادسوی تپه باعث ایجاد تلاطم شدید با مقیاس مشخصه این کاوک‌ها می‌شود. افزایش سرعت در پیرامون تپه، به‌ویژه در بالای قله آن قابل ملاحظه است. این گونه مطالعات از نظر استفاده بهینه انرژی باد در مناطق تپه‌ای می‌تواند بسیار مفید باشد.

کلیدواژه: لایه مرزی، شبیه‌سازی فیزیکی، کمیت‌های تلاطمی، کاوک

۱ مقدمه

به‌علاوه افزایش شدت تلاطم در بادسوی تپه نیز، عامل مهمی در شکل‌گیری جریان‌های کاوکی است (Arya et al., 1987).

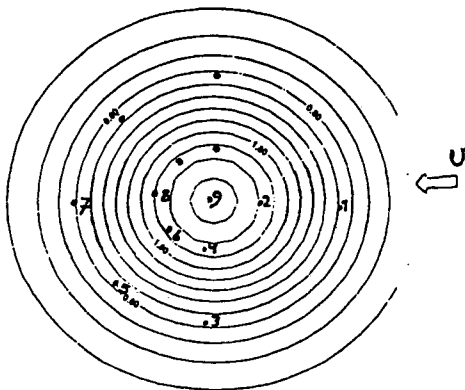
در این تحقیق، برای مطالعه ساختار جریان در روی تپه‌ها از روش شبیه‌سازی فیزیکی در تونل آب مداربسته استفاده شده است که در آن سرعت جریان آب قابل تنظیم است. تپه مورد نظر تپه گوسی شکل سه‌بعدی با شیب ۲۶ درجه است که سرعت در قسمت‌های مختلف آن اندازه‌گیری شده است. علاوه بر آن کمیت‌های تلاطمی (مانند شدت و شار تلاطمی) نیز در بادسوی تپه محاسبه شده است. سپس نتایج اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی با کارهای انجام شده توسط میسون و سایکس (۱۹۷۹) و هانت و

بررسی جریان هوا در پیرامون تپه کاربردهای بسیاری دارد که برخی از مهم‌ترین آنها عبارتند از تعیین نیروی باد و پیش‌بینی تجمع سطحی آلودگی (Snyder, 1985) و (Hunt, 1980). همچنین برای احداث ساختارهای صنعتی در پیرامون تپه باید به اثرات تغییر میدان باد به‌واسطه تپه توجه شود (Simiu and Scanla, 1986). از ویژگی‌های جریان در پیرامون تپه، تغییر شکل ساختار میدان سرعت باد و شدت تلاطم به وسیله تپه است.

میسون و سایکس (۱۹۷۹) ساختار میدان سرعت باد را در پیرامون تپه مورد مطالعه قرار دادند و اشنایدر و بریتر (۱۹۸۷) نشان دادند که

۲ روش شبیه سازی

۱۰ نمونه برداشت می‌شد. به علاوه، از آنجایی که تپه تقارن محوری داشت، اندازه‌گیری‌ها در امتداد محور طولی و نیز در سمت چپ شارش در ارتفاعات مختلف انجام گرفت و مقادیرهای به دست آمده در محاسبه برای نقاط متقارن، در سمت راست شارش نیز به کار برده شده است.



شکل ۲. مقطع افقی تپه، نشانگر که در آن اندازه گیری انجام شده است. خطوط پر، نشان دهنده پربندهای ارتفاع است.

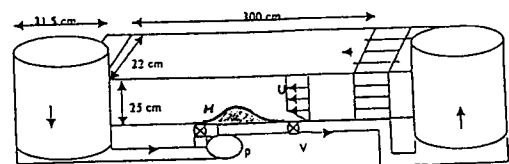
برای کالب زنی سرعت سنج فیلم داغ، ولتاژ خروجی دستگاه برای هر سرعت دلخواه ثبت شد. به این ترتیب، منحنی کالب زنی سرعت (U) برای ولتاژ (E) برای این کاوند مطابق شکل (۳) است و رابطه کالب زنی از معادله (۱) به دست می‌آید:

$$U = 20.109E^2 - 83.357E + 86.33 \quad (1)$$

که در آن E بر حسب ولت و U بر حسب cm/s است.

همچنین سرعت پریشیدگی ($\bar{w} - w$) و در نتیجه ریشه میانگین مربعی سرعت پریشیدگی

در این روش از تونل آب استفاده شده است که ساختار آن شامل کانالی افقی به صورت مکعب مستطیل، از جنس پلاستیک شفاف پلکسی گلاس با ابعاد ۳ متر طول و سطح مقطع 22×25 سانتی متر مربع است و مدل تپه در آن قرار می‌گیرد (شکل ۱). برای ارتباط بین کانال تا لوله‌های منتهی به پمپ دستگاه در دو طرف ورودی و خروجی کانال از لوله‌های پولیکایی به قطر $31/5$ سانتی متر استفاده شده است. برای تنظیم سرعت جریان نیز از دو شیر تنظیم کننده استفاده شده است (فیض، ۱۳۷۶).



شکل ۱. تونل آب مدار بسته پمپ با P ، شیرهای کنترل با V ، نیمرخ جریان با U و نیمرخ قائم تپه با H نشان داده شده است.

۱-۲ اندازه‌گیری سرعت متوسط (U) و افت و خیز سرعت پریشیدگی (u')

به منظور اندازه‌گیری U و u' از دستگاه سرعت سنج فیلم داغ با کاوند مخروطی استفاده شده است. در عمل، ابتدا سرعت جریان در سطح آزاد شاره با تقریب خوبی روی V سانتی متر بر ثانیه تنظیم می‌شد. آنگاه، سرعت در نقاط مختلف تپه (شکل ۲) اندازه‌گیری می‌شد. لازم است اضافه شود که در این کار هر

در این روابط کمیت‌های دارای اندیس rms (ریشه میانگین مربعی) بیان‌کننده اندازه افت‌وخیز آن کمیت‌ها است. به‌ویژه، در مورد سرعت، معرف سرعت پریشیدگی است.

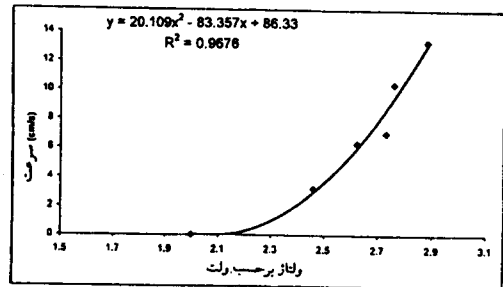
۳ تحلیل داده‌ها و بحث نتایج

۱-۳ تحلیل داده‌ها

با توجه به داده‌های سرعت می‌توان $\Delta U = U - \bar{U}$ را (که در آن \bar{U} میانگین سرعت در ارتفاع مورد نظر است) برای ارتفاعاتی که در آن اندازه‌گیری صورت گرفته محاسبه کرد. همچنین با تحلیل سیگنال‌های سرعت می‌توان u' را محاسبه کرد که به‌عنوان نمونه، داده‌های ΔU و u' برای ارتفاع ۴ و ۵/۶ سانتی‌متر به ترتیب در جدول (۱) و (۲) آورده شده است.

برای بررسی جریان در پیرامون تپه، پربندهای ΔU و u' با توجه به جدول‌های (۱) و (۲) و برای ارتفاع ۴ و ۵/۶ سانتی‌متر رسم شده‌اند (شکل ۴ و ۵).

همان‌گونه که از پربندهای ΔU مشخص می‌شود، ΔU در بادسوی تپه منفی است. به عبارتی سرعت کاهش یافته در حالی‌که در بالای قله در ارتفاع ۵/۶ سانتی‌متر، ΔU مثبت است و سرعت افزایش یافته است. از طرفی بررسی پربندهای u' نشان می‌دهد که افت‌وخیز سرعت در بادسوی تپه به مقدار قابل ملاحظه افزایش می‌یابد در حالی‌که روی قله و در ارتفاع ۵/۶ سانتی‌متر افت و خیز سرعت کاهش می‌یابد.



شکل ۳. منحنی کالب زنی برای کاوند مخروطی.

۲-۲ اندازه‌گیری شدت و شار تلاطمی

به منظور اندازه‌گیری شدت و شار تلاطمی، از دستگاه سرعت‌سنج فیلم داغ با کاوند دو بعدی V - شکل استفاده شده است. بنابراین از طریق دو کانال، سیگنال مولفه‌های سرعت، u و w برای بادسوی تپه به طور دیجیتالی ضبط شده که هر اندازه‌گیری برای ۱/۵ دقیقه ادامه داشته و در هر ثانیه، ۱۰ نمونه برداشت شده است. رابطه کالب زنی سرعت بر حسب ولتاژ نیز برای کاوند دو بعدی به شکل معادله (۲) به دست آمده است (دهقان، ۱۳۷۹):

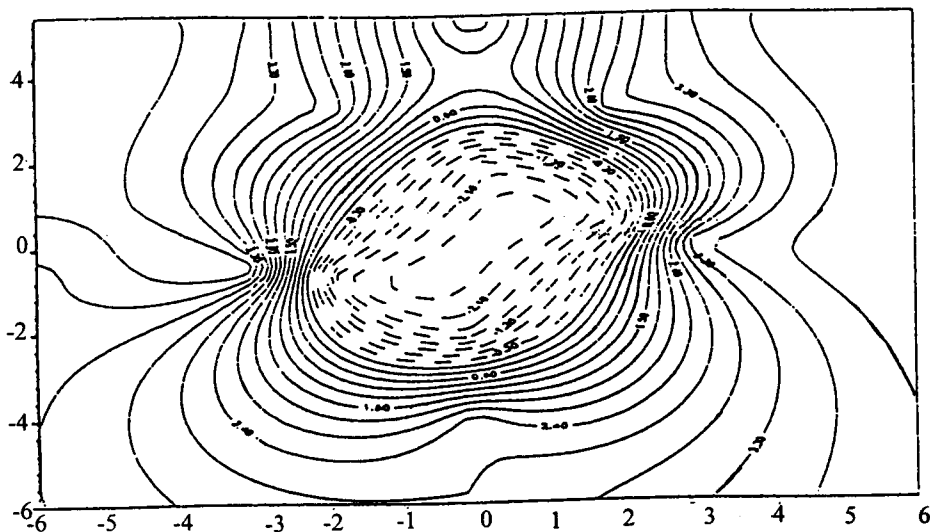
$$U = \exp[1.76(E - 2.35)] \quad (2)$$

که در این رابطه E و U به ترتیب بر حسب ولت و سانتی‌متر بر ثانیه‌اند.

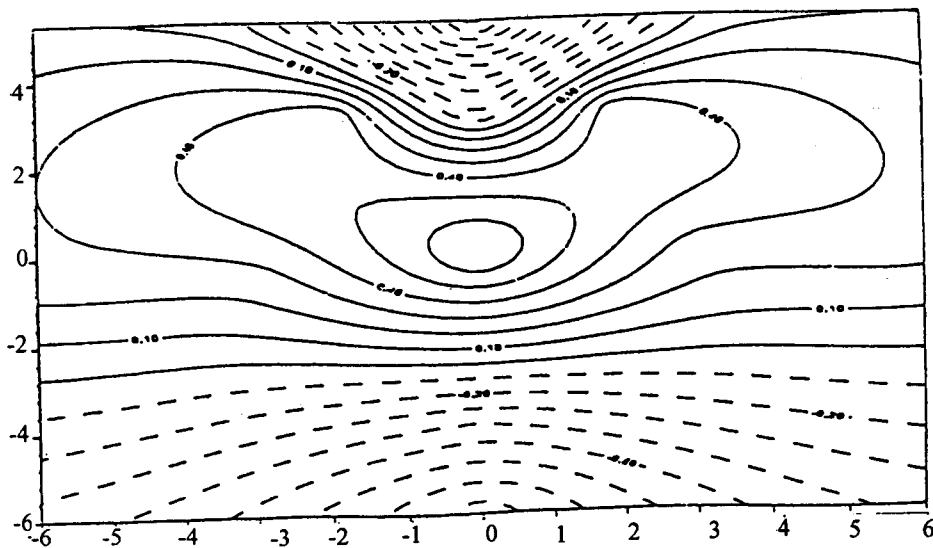
به این ترتیب اگر ولتاژ خروجی هر یک از دو کانال فیلم داغ را e_1 و e_2 بنامیم، مقادیر شدت تلاطم u'/U و w'/U و همچنین شار تلاطمی $\overline{u'w'}/U^2$ به شکل زیر قابل محاسبه خواهند بود (وکیلی، ۱۳۷۸):

$$\begin{aligned} u_{rms}/U &= 0.88(e_1 + e_2)_{rms} \\ w_{rms}/U &= 0.88(e_1 - e_2)_{rms} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\overline{u'w'}/U^2 = (0.88)^2 (e_1^2 - e_2^2)$$



(الف)



(ب)

شکل ۴. پربندهای ΔU (بر حسب سانتی متر بر ثانیه) در پیرامون تپه در ارتفاع ۴ سانتی متر (الف) و ۰/۶ سانتی متر (ب). در این نمودارها جهت جریان از پایین به بالا است.

است که این تحقیقات در قسمت‌های مختلف تپه نیز صورت گرفته است (دهقان، ۱۳۷۹).

۲-۳ بحث نتایج

بر اساس تحلیل پربندهای ΔU ، سرعت در

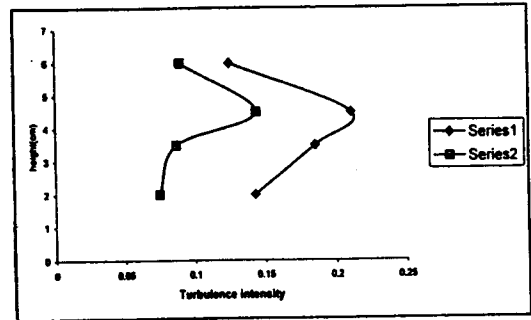
برای بررسی تغییرات شدت و شار تلاطمی بر حسب تغییر ارتفاع، رسم نیمرخ‌های u'/U و w'/U و $\overline{u'w'}/U^2$ بسیار مفید است (استایدر و بریتر، ۱۹۸۷). به عنوان نمونه نیمرخ‌های شدت و شار تلاطمی در بادسوی تپه با توجه به جدول

کاهش پیدا می‌کند و این به دلیل کاهش فشار در قله و افزایش فشار در بادسوی تپه است (Kundu, 1990). این نتایج با آنچه توسط میسون و سایکس (۱۹۷۹) ارائه شده است، کاملاً مطابقت می‌کند (شکل ۸).

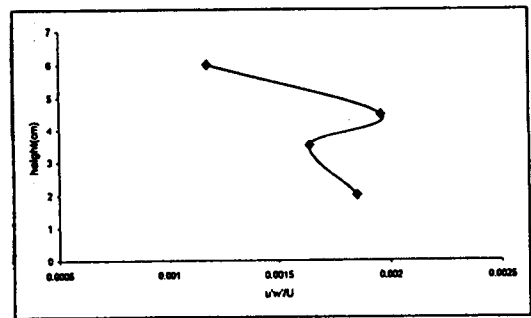
چنانچه از تحلیل پربندهای u' (سرعت پریشیدگی) مشاهده می‌شود، u' در بادسوی تپه افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته است که دلیل آن وجود جریان‌های کاوکی و افزایش ناپایداری در این منطقه است. در حالی‌که در قله تپه، با توجه به تغییر شکل پیچک‌ها، u' کاهش پیدا می‌کند. وجود جریان‌های چرخشی در بادسوی تپه باعث افزایش تجمع آلودگی در این منطقه می‌شود. همچنین تشکیل کاوک‌ها در بادسوی تپه باعث نوسان و گاهی تخریب ساختارهایی می‌شود که در این قسمت قرار دارند (Simiu and Scanlan, 1986).

از طرفی با توجه به جدول (۳) مشاهده می‌شود که مقادیر u'/U از w'/U بزرگ‌ترند. این امر مبین آن است که پیچک‌ها در راستای قائم کوچک‌ترند. همچنان که انتظار می‌رفت مقادیر $\overline{u'w'}$ همگی کوچک و منفی‌اند. بر خلاف انتظار در چند مورد اندازه‌گیری روی قله تپه، مقادیر مثبت نیز به دست آمده که آن هم قابل توجیه است و می‌تواند به علت وجود جت در بالای قله باشد.

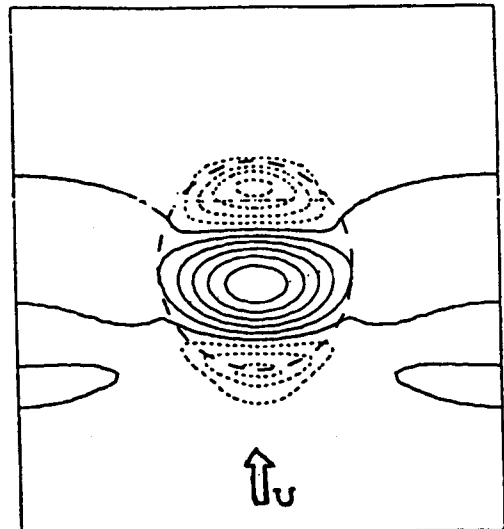
در ضمن همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، ابتدا شدت تلاطم با افزایش ارتفاع، افزایش می‌یابد و در ارتفاع $4/5$ سانتی‌متر به



شکل ۶. نیمرخ‌های شدت تلاطم افقی و قائم در بادسوی تپه سری (۱) نیمرخ u'/U ، سری (۲) نیمرخ w'/U



شکل ۷. نیمرخ شار تلاطمی $-\overline{u'w'}/U^2$ در بادسوی تپه.



شکل ۸. پربندهای سرعت متوسط در پیرامون یک تپه

۴- وجود جریان‌های چرخشی در بادسوی تپه باعث افزایش تجمع آلودگی می‌شود و تلاطم‌های شدید ناشی از جریان‌های چرخشی می‌تواند باعث نوسان ساختارهای صنعتی ایجاد شده در این مناطق شود.

۵- از نتایج فوق می‌توان در مناطقی با توپوگرافی تپه‌ای، مانند منطقه منجیل برای استفاده بهینه از انرژی باد استفاده کرد.

منابع

- Arya, S.P.S., Capuano, M.E. and Fagent, L.C., 1987, Some fluid modeling studies of flow and dispersion over two-dimensional low hills: *Atm. Env.*, **21**, 753-764.
- Hunt, J.C.R., 1980, proceeding of environmental fluid mechanics: IUTAM (International Union of Theoretical and Applied Mechanics).
- Hunt, J.C.R., Leibovich, S. and Richards, K.J., 1988, Turbulent shear flows over low hills: *Q.J.R. Meteorol. Soc.* **114**, 1435-1470.
- Kundu, P., 1990, *Fluid mechanics*: Academic Press, San Diego.
- Mason, P.J. and Sykes. R.I., 1979, Flow over an isolated hill of moderate slope: *Q.J.R. Meteral. Soc.* **105**, 383-395.
- Snyder, W.H., 1985 Fluid modeling of pollutant transport and diffusion in stably stratified flows over Complex terrain: *Ann. Rev. Fluid Mech.*, **17**, 239-266.
- Snyder, W.H. and Britter, R.E., 1987, A wind tunnel study of the flow structure and dispersion from sources upwind of three-dimensional hills: *Atm. Env.*, **21**, 735-751.
- Simiu, E. and Scanlan, R.H., 1986, *Wind effects on structures*: Wiley, New York.

جدول ۳. تغییرات u'/U ، w'/U و $\overline{u'w'}/U^2$ با ارتفاع در بادسوی تپه.

ارتفاع (cm)	u'/U	w'/U	$\overline{u'w'}/U^2$
۲	۰/۱۴۳۴	۰/۰۷۵۰	-۰/۰۰۱۸۵
۳/۵	۰/۱۸۵۴	۰/۰۸۷۲	-۰/۰۰۱۶۴
۴/۵	۰/۲۱۰۹	۰/۱۴۴۳	-۰/۰۰۱۹۶
۶	۰/۱۲۵۵	۰/۰۹۰۰	-۰/۰۰۱۱۸

بیشینه مقدار خود می‌رسد و سپس کاهش پیدا می‌کند. نیمرخ تنش رینولدز ($-\overline{u'w'}/U^2$) نیز مشابه با نیمرخ‌های شدت تلاطم است و مطابق شکل (۷) در ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر به بیشینه مقدار خود در بادسوی تپه می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد. نتایج به دست آمده از نیمرخ‌های شدت و شار تلاطمی با نظریه هانت، لی‌بویچ و ریچاردز (۱۹۸۸) کاملاً قابل توجیه است (دهقان، ۱۳۷۹).

۴ نتیجه‌گیری

- ۱- سرعت متوسط در قله تپه افزایش، و در بادسوی تپه کاهش پیدا می‌کند.
- ۲- افت و خیز سرعت پخشیدگی در قله تپه کاهش و در بادسوی تپه افزایش می‌یابد.
- ۳- شدت و شار تلاطمی به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند، اگر چه شدت تلاطم در راستای محور x نسبت به شدت تلاطم در راستای محور z افزایش بیشتری نشان می‌دهد.

وکیلی، غ.، ۱۳۷۸، مشاهده ساختار تلاطمی لایه سطحی جو در شرایط پایدار و کاربرد آن در مسئله پخش آلودگی هوا: پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

دهقان، آ.، ۱۳۷۹، شبیه سازی فیزیکی جریان هوا در پیرامون یک تپه سه بعدی: پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

فیض، ا.، ۱۳۷۶، شبیه سازی فیزیکی جریان شاره در یک محیط دره ای با اثر پایداری: پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.