



## بررسی شناور ایرکاویتی ، ساخت و آزمایش مدل

احمد فخرایی<sup>۱</sup>، مهدی ریشه‌ری<sup>۲</sup>، منوچهر راد<sup>۳</sup>

تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مکانیک

fakhraee@sharif.edu

### چکیده:

به منظور دستیابی به سرعت‌های بالاتر و نیروی جلوبرنده بهتر در کشتی‌ها تکنیک‌های زیادی وجود دارد. یکی از این تکنیک‌ها استفاده از یک لایه نازک هوا در طول کف بدنه کشتی، به منظور کاهش پسای اصطکاک پوسته‌ای است. در این مقاله روی دو مدل، تست انجام شده که مدل اول یک شناور کاتاماران بدون حفره هوا می باشد که زاویه بالا آمدگی<sup>۴</sup> ۲۳ درجه می باشد و مدل دوم همان کاتاماران می باشد ولی با این تفاوت که دارای حفره هوا می باشد که هم با تزریق هوا و هم بدون آن تست شده است. نتایج تجربی حاصل از آزمایش‌ها درحوضچه کشش، توضیح داده شده است. در نهایت نتایج بصورت نمودار ضریب مقاومت برحسب عدد فرود ارائه می‌شود. خواهیم دید هنگامی که هوا در کف مدل تزریق می شود، پسای خالص در مدل حدود ۱۲/۵ تا ۲۲ درصد کاهش می‌یابد.

**کلمات کلیدی:** شناور ایرکاویتی، کاهش پسا، نیروی پسا، تزریق هوا

---

۱- کارشناس ارشد سازه کشتی، دانشگاه صنعتی شریف  
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه کشتی، دانشگاه صنعتی شریف  
۳- استاد دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف



## مقدمه

یکی از روش‌های کنترل لایه مرزی ، ایجاد جریان‌های چند فازی بوسیله تزریق هوا در جریان سیال است. جریانهای کاویتاسیونی گسترش یافته که به صورت مصنوعی ایجاد می‌شوند در کاهش نیروی درگ بر روی سطح شناورها [1](Matveev.1999) و در موشک‌های زیر آبی [1](Ashley.2001) بسیار موثرند.

Butuzov در سال ۱۹۶۴ ایده عبور هوا از کف شناور و استفاده از نیروی کاویتاسیون را بیان کرده و سپس گسترش داد. تحقیقات زیادی در زمینه سوپر کاویتاسیون و جریان های تهویه هوا انجام گرفته است. مطالعاتی در این زمینه توسط [1](1970).Knapp et al., [1] Brennen (1995), [1] Savchenko (2001) صورت گرفته است. به هر حال، بیشتر آزمایشات و تئوری ها در این زمینه به جریان هایی با عدد کاویتاسیون مثبت و بدون در نظر گرفتن مرز صلب بالا که در تماس با حفره است، اختصاص یافت. تحقیقات سیستماتیک بر روی این جریان ها از سال ۱۹۶۰ در روسیه آغاز گردید و نمونه های آزمایشی ACS در سال ۱۹۹۰ به نتیجه رسیدند. از دهه ۱۹۹۰، شناور های ACS نظامی و تجاری با تناژ بالای ۱۰۰ تن ساخته شد. بازبینی مدل های مختلف ACS و آنالیز ابعادی آن ها توسط Latorre در سال ۱۹۹۷ صورت گرفت.

## مفهوم حفره های مصنوعی

تزریق هوا از طریق اریفیس های هوای کوچکی که در کف بدنه کشتی واقع شده اند ، انجام می شود و یک پوشش هوای پایدار ایجاد می‌کنند که قسمت مهمی از سطح خیس شده کشتی را کاهش می دهد(شکل ۱). از مشکلات این طرح ایجاد یک لایه هوا در سطح خیس شده کشتی و تنظیم و پخش این لایه بر روی قسمت زیادی از کف می باشد. برای ایجاد لایهٔ هوا در کف بدنه با استفاده از حفره های هوا ( در عقب بدنه ) از طریق پله (ناپیوستگی)<sup>۱</sup> در کف می باشد. شکل و فرم حفره هوای مصنوعی ساده می باشد و در حدود ۲۰ درصد از ساختمان سینه<sup>۲</sup> مانند بدنه های پروازی و یا

---

1- Step

2- Bow



نیمه پروازی معمول می باشد از این رو قابلیت دریانوردی خیلی خوبی می تواند داشته باشد. یک محفظه حفره ای با قرار دادن یک گام در قسمت سینه و یک کانال طولی با قسمت عمیق تری در کناره ها ساخته شده است (شکل ۲).

## شکل بدنه و اندازه گیری ها

شناور از نوع کاتاماران با زاویه بالآمدگی کف، برای مطالعه حفره های مصنوعی انتخاب شده است. این بدنه با یک زاویه بالآمدگی ۲۳ درجه، دارای یک ناپیوستگی<sup>۱</sup> است که در شکل ۲ شرح داده شده است. این فرم به عنوان یک فرم WAC مشخص شده است که به عنوان یک معیار و پایه استفاده می شود. فرم بدنه حفره مصنوعی ساده از فرم WAC ساخته شده است، که سینه آن فرم بسیار ساده ای دارد و همچنین دارای یک ناپیوستگی (پله) در ۲۵/۹۲ درصد طول شناور از قسمت جلوی سینه تشکیل یافته است. محفظه حفره ها با تشکیل یک کانال بین بدنه های کناری شناور (ساید) کوچک تخصیص داده شده است. نسبت عرض کانال حفره ها به عرض تک بدنه مدل برابر ۰/۴۴۶ انتخاب شده است. ارتفاع حفره ها برابر ۲۷/۳٪ آبخور مدل می باشد (شکل ۶). دیواره های کناری کانال که در کارائی اجزاء تشکیل حفره هوا نقش مهمی ایفا می کنند به همراه ناپیوستگی عمودی<sup>۲</sup>، برای مدل در نظر گرفته شده اند. این فرم و شکل، تفکیک و تقسیم بندی شده که فرم AC نام دارد (شکل ۳). مدل AC همچنین از جنس پلکسی گلاس ساخته شده است تا مشاهده تشکیل حفره های هوا امکان پذیر شود. هوا به وسیله یک کمپرسور هوا به طور پیوسته دمیده و تزریق می شود. وسایل و تجهیزاتی جهت تامین و تنظیم فشار ورودی و همچنین تخلیه هوا از سوراخ های قابل تنظیم به منظور تامین هوای قابل تنظیم فراهم شده است. فشار جریان هوای کمپرسور بوسیله رگلاتور تنظیم می شود و بوسیله ترمینال هوا به دو قسمت انشعاب پیدا می کند و به نقطه های تزریق هوا انتقال می یابد (شکل ۴). اکنون با توجه به ابعاد بدست آمده برای مدل بدون کانال و مدل با کانال هوا می توان مقاومت واقعی ایجاد شده توسط هر کدام را به صورت تجربی بدست آورد. مدل AC حجم جابجایی برابر  $4683.951\text{cm}^3$  و سطح خیس شده برابر  $2626.4\text{cm}^2$  که معادل  $4.4\text{cm}$  آبخور می باشد، ایجاد

1-Single Chine

2-Vertical steps



می کند که همین جابجایی در مدل WAC ، سطح خیس شده برابر  $2433.1cm^2$  و آبخوری معادل 4.2cm ایجاد می کند.

مدل AC در چهار حالت تست شد که عبارت است از:

۱. مدل AC بدون تزریق هوا
  ۲. مدل AC1 با تزریق هوا و با فشار 4psi معادل با ۲۷/۵۷۹ کیلوپاسکال .
  ۳. مدل AC2 با تزریق هوا و با فشار 6psi معادل با ۴۱/۳۶۸ کیلوپاسکال .
  ۴. مدل AC3 با تزریق هوا و با فشار 8psi معادل با ۵۵/۱۵۸ کیلوپاسکال .
- مدل WAC در آبخور 4.2cm تست شده است.

### برآورد کاهش مقاومت اصطکاکی بدنه بر اثر تزریق لایه هوا

مقاومت اصطکاکی با تزریق هوا ( $R'_f$ ) را با استفاده از روش کلاسیک فرود می توان بدست آورد. مطابق با روش فرود کل مقاومت بدنه ( $R_T$ ) در سرعت  $V$  را می توان به دو مؤلفه تبدیل کرد. مؤلفه اول مقاومت اصطکاکی  $R_f$  و مؤلفه دوم آن مقاومت باقی مانده  $R_R$  که بصورت پسای شکلی و پسای موجی بیان می شود.

$$R_T = R_R + R_f \quad (1)$$

مقاومت کل بدنه هنگامیکه بدنه دارای سیستم تزریق هوا باشد بصورت زیر بیان می شود ( $R'_T$ ).

$$R'_T = R_R + R'_f \quad (2)$$

در رابطه فوق  $R'_f$  مقاومت اصطکاکی پوسته ای با سیستم تزریق هواست که شامل مقاومت دستگاه های تزریق هوایی است. به علت نرخ هوای تزریق شده نسبتاً کوچکی که در مدل و نمونه اصلی استفاده می شود فرض می شود تمام کاهش مربوط به مقاومت اصطکاکی سطح بدنه است. تاثیرات تزریق هوا را می توان جزء مقاومت های باقی مانده به حساب آورد هر چند که مقدار آن قابل صرف نظر کردن است. مقدار مقاومت اصطکاکی پوسته ای با تزریق هوا  $R'_f$  شامل مقاومت های



اضافی مربوط به اسباب و آلات تزریق هوا ( $R_{ap}$ ) و مقاومت اصطکاکی بدنه ( $R_f$ ) است که باید مقدار مقاومت اصطکاکی کاهش یافته در اثر تزریق هوا را از آن کم نمود. یعنی خواهیم داشت :

$$R'_f = R_f + R_{ap} - \Delta R_{fa} \quad (3)$$

نتایج آزمایش در یک سرعت معین  $V$  با عدد رینولدز  $R_N$  را می‌توان به وسیله یک ضریب بدون بعد مقاومت اصطکاکی  $C_f$  بدون تزریق هوا و  $C'_f$  با تزریق هوا کاهش داد.

$$C_f = \frac{R_f}{\frac{1}{2}\rho V^2 S} \quad (4)$$

$$C'_f = \frac{R'_f}{\frac{1}{2}\rho V^2 S} = \frac{(R_f + R_{ap} - \Delta R_{fa})}{\frac{1}{2}\rho V^2 S} = aC_f \quad (5)$$

در عدد رینولدز مربوطه می‌توان تأثیرات تزریق هوا روی مقاومت بدنه را به صورت زیر نوشت:

$$R'_T = R_R + aR_f \quad (6)$$

نتایج بمنظور مفید واقع شدن در کار طراحی بصورت زیر ارائه می‌شوند:

الف- کاهش پسای کلی  $R_T$  به علت تزریق هوا که با  $\alpha$  تعریف می‌شوند به طوریکه:

$$\alpha = \frac{R'_T}{R_T} \quad (7)$$

•  $R'_T$  پسای کلی با تزریق هوا

•  $R_T$  پسای کلی بدون تزریق هوا

ب- کاهش سطح خیس شده به علت تزریق هوا که با  $\beta$  تعریف می‌شوند به طوریکه:

$$\beta = \frac{S'}{S} \quad (8)$$

•  $S'$  سطح خیس شده مدل با تزریق هوا

•  $S$  سطح خیس شده بدون کانال هوا (WAC)



## انجام آزمایشات و نتایج مربوطه

آزمایش مدل ، در حوضچه کشش آزمایشگاه مهندسی دریا دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف انجام شده است. این آزمایشها شامل اندازه گیری مقاومت هیدرودینامیکی مدل در سرعت های مختلف در آب آرام می باشد. پس از انجام آزمایش های مربوط به حالت های مختلف ، نتایج حاصل در نمودارهایی ارائه شده است. در این نمودارها  $R_T/\Delta$  مربوط به شناورهای WAC و AC و AC1 و AC2 و AC3 بر حسب عدد فرود آورده شده است.

## نتیجه گیری

بر پایه آزمایشات می توان تعدادی از نتایج زیر را ذکر کرد :

۱- در فرم حفره هوای ساده که از مدل WAC استخراج کردیم بخاطر استفاده از تجهیزات بالا با افزایش مقاومت همراه بود.

۲- هنگامیکه هوا در پشت ناپیوستگی تزریق می شود در حدود ۲۲٪ کاهش مقاومت مشاهده می شود که این تزریق هوا باعث کاهش سطح خیس شده در حدود ۱۹٪ می شود .

۳- اثر تزریق هوا در ته بدنه بستگی به جریان هوا ( $Q$ ) دارد و افزایش جریان هوا بیش از یک حد معین باعث کاهش محسوسی در مقاومت اصطکاکی بدنه نمی شود.

۴- برای حالت  $P=27.579 \text{ Kp}$  که به ازای  $V = 1.28 \frac{m}{s}$  اتفاق می افتد مقاومت اصطکاکی بدنه در حدود ۱۲/۵ تا ۲۲ درصد کاهش می یابد که در این حالت سطح خیس شده برابر  $1971.84 \text{ cm}^2$  می باشد.

۵- در سرعت های کم ، هوا در کانال حفره هوا جریان می یابد و از پاشنه تخت بیرون می رود و به محض افزایش سرعت شناور ، خروج و فرار هوا از قسمت پاشنه ناپدید می شود و خروج و فرار هوا از کناره دیواره ها پدیدار می شود .



خروج و فرار هوا از کناره دیواره ها ، سطح بزرگتری از بدنه مدل با یک پوشش هوا بجای آب روانسازی می شود و این باعث می شود که سطح خیس شده بدنه مدل کاهش یابد و به نوبه خود باعث کاهش بیشتر نیروی پسای اصطکاکی و در نتیجه کاهش نیروی پسای کل شود.

به عنوان نتیجه گیری کلی در بهترین حالت هنگامی که هوا در کف مدل تزریق می شود ، پسای خالص مدل در حدود ۱۲/۵ تا ۲۲ درصد کاهش می یابد.

## مراجع

- [1] K.I.Matveev \*, "On the limiting parameters of artificial cavitation", Ocean Engineering 30, P: 1179-1190, 2002
- [2] S.Gokay, M.Insel \*, A.Y.Odabasi, "Revisiting Air Cavity Concept For High Speed Craft", Ocean Engineering 31(2004), 253-267
- [3] R.Latorre, Mr. Aaron Miller and Mr. Richard Philips, "Micro-Bubble Resistance Reduction for High Speed Craft", 2002.
- [4] Latorre , DR.Robert, "Ship Hull Drag Reduction Using Bottom Air Injection", Ocean Engn. Vol.24, p:161-175, 1997
- [5] Yoshiaki Kodamal, Akira Kakugawa, Takahito Takahashi, Shigeki Nagayal and Takafumi Kawamura, "Drag Reduction of Ships by Micro Bubbles", National Maritime Research Institute of Japan. 2002
- [6] K.I Matveev, "Modeling Of Vertical Plane Motion Of An Air Cavity Ship." In proceedings of the 5th international conference on fast sea transportation, Seattle. 1999

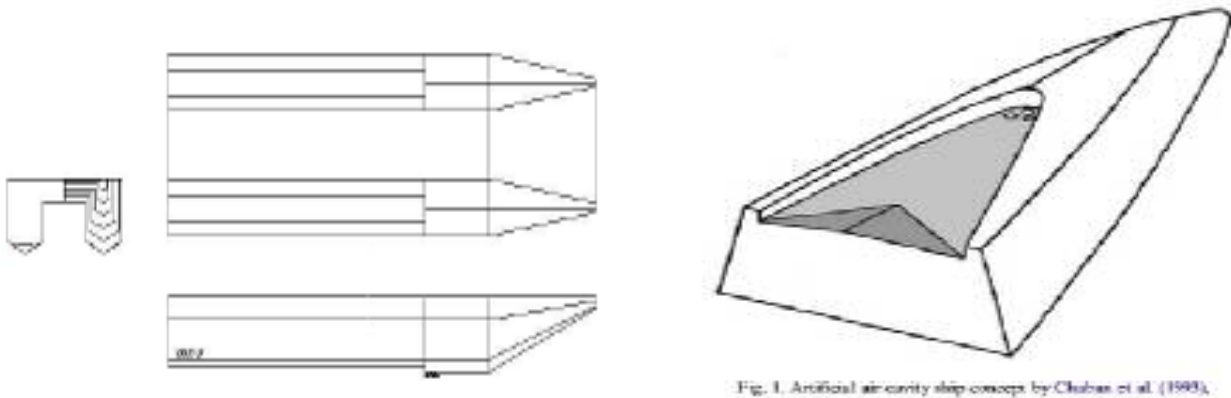
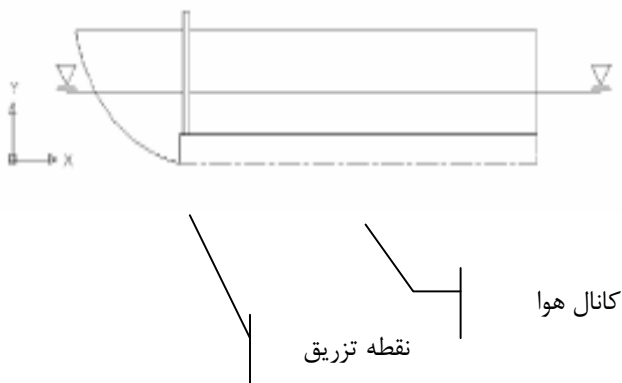


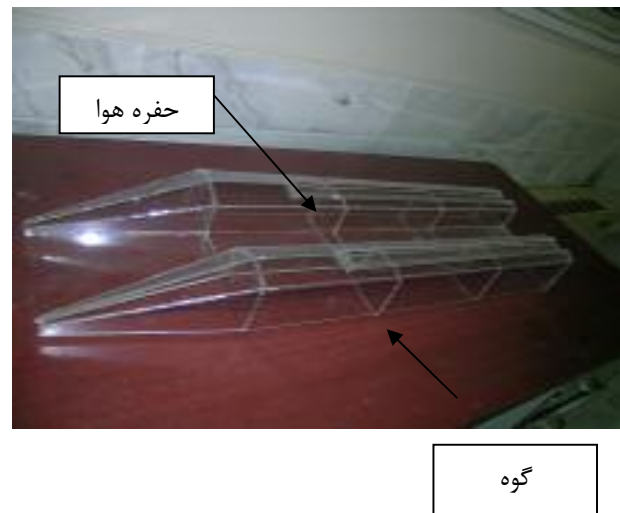
Fig. 1. Artificial air cavity ship concept by Chaban et al. (1993).

شکل ۱: مفهوم شناور ایرکاویتی مصنوعی بوسیله شکل ۲: خطوط بدنه مدل شناور ایرکاویتی ساخته شده

Chaban et al.[۲]

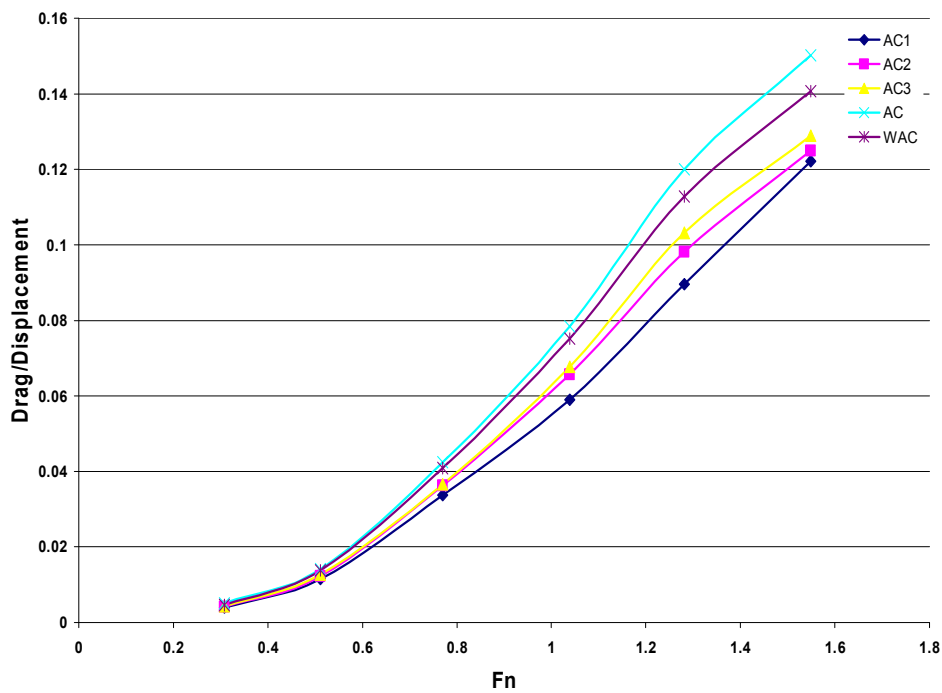


شکل ۴: نمای طولی مدل ایرکاویتی در centerline



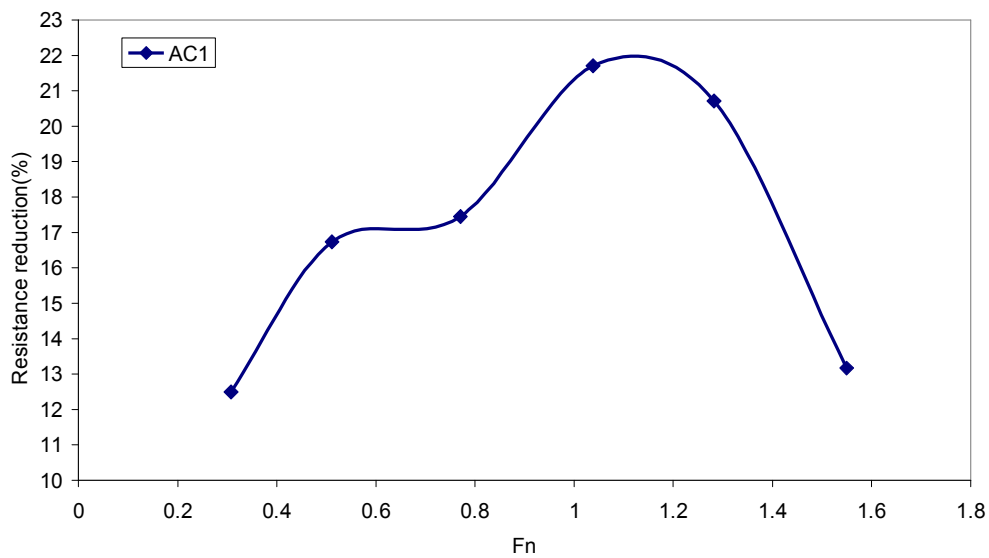
شکل ۳: نمای از پایین مدل شناور ایرکاویتی ساخته شده





نمودار (۱):  $R_T/\Delta$  مربوط به شناورهای WAC و AC و AC1 و AC2 و AC3 بر حسب عدد فرود

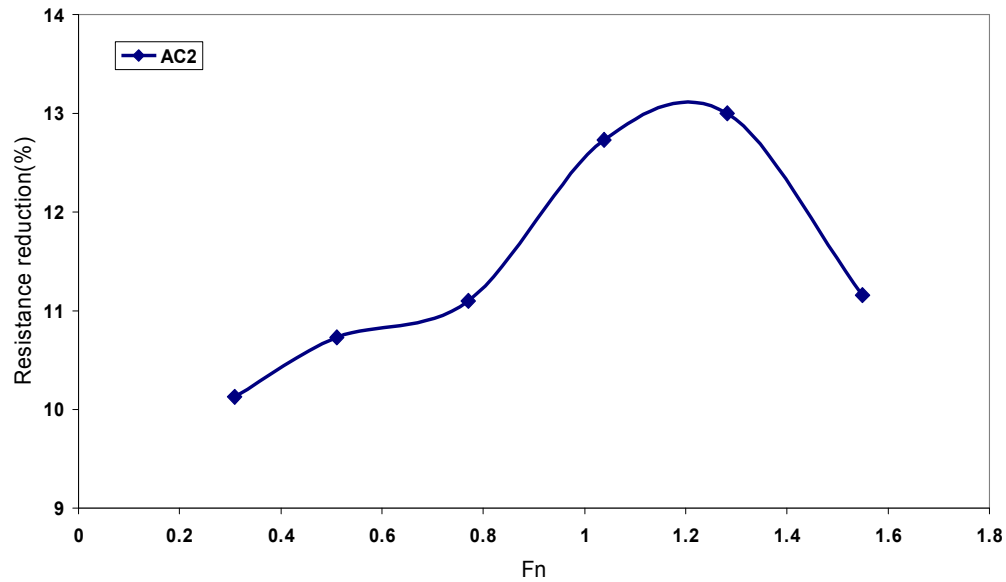
کاهش پسای مدل AC1 نسبت به مدل WAC



نمودار (۲): درصد کاهش نیروی پسا بین مدل WAC و AC1 بر حسب عدد فرود

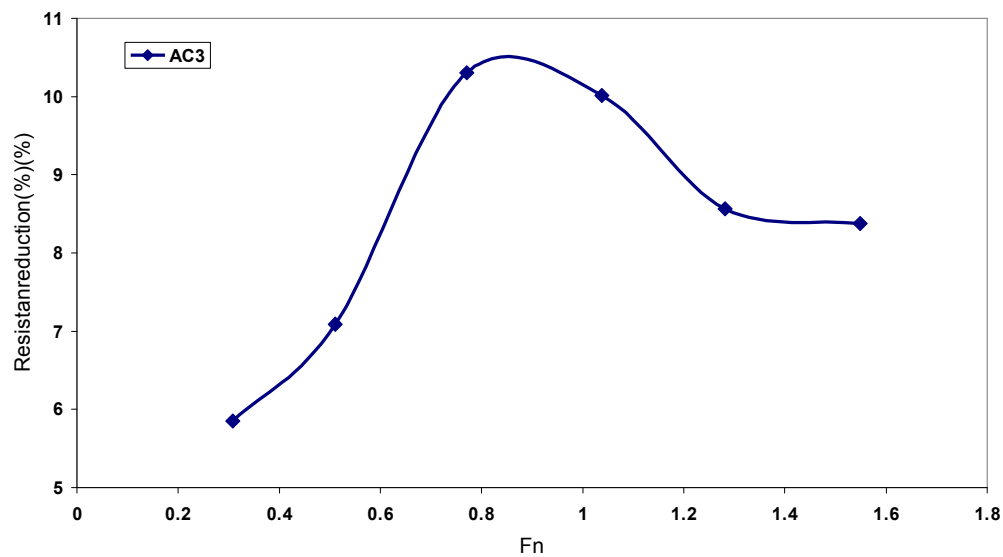


کاهش پسای مدل AC2 نسبت به مدل WAC



نمودار (۳): درصد کاهش نیروی پسا بین مدل AC2 و WAC بر حسب عدد فرود

کاهش پسای مدل AC3 نسبت به مدل WAC



نمودار (۴): درصد کاهش نیروی پسا بین مدل AC3 و WAC بر حسب عدد فرود