

## Experimental Study of Required Force to Restrain Hose for Spraying in Altitude

M. Dehghani<sup>\*1</sup>Shahid Sattari Air University,  
Tehran, Iran.S. BahmanGhamsari<sup>2</sup>

Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

E. Mashayekhi<sup>3</sup>Kharazmi University,  
Tehran, Iran.

(Received: 2024/02/29, Revised: 2024/05/20, Accepted: 2024/06/23, Published: 2024/07/22)

DOR: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23223278.1403.13.1.8.4>

## ABSTRACT

This study investigates the forces exerted on a fluid spraying system in a drone through experimental tests. In this system, water is pumped from the ground to the high altitudes. Due to the importance of accurate estimation before design and implementation in real conditions, the effects of changing each of the sub-systems have been tested on both ground and low altitudes. The study of these forces, range, flow and pressure of the fluid in this system requires testing in different hoses and nozzles. In this article, two types of hoses with diameters of  $\frac{3}{4}$  in and 1 in and nozzle with diameter of 9 mm have been studied. Also, the effect of different heights of the system (7 and 11 meters) and different angles of the nozzle have been investigated. The results of this test led to the development of equations essential for calculating the flow rate, pressure and range of the spraying fluid at any desired height to restrain the reaction force of the nozzle. The result of this research can be used in the design and optimization of high-altitude fluid spraying systems. In this article, the height of 20 meters as a desired height for designing the system is examined due to the achieved formulas and its results are presented.

**Keywords:** Spraying in Altitude – Flow Rate – Range – Fluid Pressure

## مطالعه تجربی نیروی لازم برای مهار شیلنگ جهت پاشش آب در ارتفاع

عرفان مشایخی<sup>3</sup>

دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

سعید بهمن قمصری<sup>2</sup>

دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

محسن دهقانی محمدآبادی<sup>1\*</sup>دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری،  
تهران، ایران.

(دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۳۱، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۳، انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱)

## چکیده

در این مقاله، با تست‌های تجربی، نیروهای وارد بر یک سامانه پاشش سیال پهپادی به‌دست‌آمده است. در این سامانه، آب از روی زمین و از طریق شیلنگ آتش‌نشانی به ارتفاع پمپاژ می‌شود. باتوجه به اهمیت وجود برآوردهای دقیق پیش از طراحی و پیاده‌سازی در شرایط واقعی، اثرات تغییر هر یک از زیر سامانه‌ها بر روی زمین و ارتفاعات پایین‌تر آزمایش شده است. مطالعه تجربی این نیروها به همراه برد، دبی و فشار پاشش سیال در این سامانه، مستلزم آزمایش آن در شرایط مختلف و ایجاد تغییر در شیلنگ و نازل می‌باشد. در این مقاله، دو نوع شیلنگ با قطرهای  $\frac{3}{4}$  اینچ و ۱ اینچ بررسی شده و در دو حالت بدون نازل و با نازل ۹ میلی‌متر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. همچنین، تأثیر ارتفاع‌های مختلف سامانه (۷ و ۱۱ متر) و زوایای مختلف نازل، بر عملکرد کلی سامانه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج عملی این تحقیق منجر به توسعه روابطی شده که می‌توان با استناد به آن‌ها، میزان دبی، فشار و برد پاشش سیال و نیروی لازم برای مهار شیلنگ و نازل را در هر ارتفاعی محاسبه کرد. نتایج این تحقیقات و نمودارهای حاصله می‌توانند در طراحی و بهینه‌سازی سامانه‌های پاشش سیال در ارتفاع بالا، مانند پهپادهای آتش‌نشان و بالابرها با قابلیت پاشش سیال بکار رود. در این مقاله، ارتفاع ۲۰ متر به‌عنوان یک ارتفاع معیار برای طراحی سامانه سیالاتی در نظر گرفته شده است و بر اساس این ارتفاع فرمول‌های به‌دست‌آمده مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** پاشش سیال در ارتفاع - دبی - برد سیال - فشار سیال

۱- استادیار (نویسنده پاسخگو): m.dehghani@ssau.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد: s.bahman@modares.ac.ir

۳- کارشناسی: std\_erfan\_mashayekhi@khu.ac.ir

## فهرست علائم و اختصارات

## علائم انگلیسی

$A$	سطح مقطع نازل، $m^2$
$d$	قطر نازل، $m$
$f$	ضریب اصطکاک داریسی
$F_1$	نیروی نیروسنج اول، $N$
$F_2$	نیروی نیروسنج دوم، $N$
$F_N$	نیروی جت آب، $N$
$F_{nozzle}$	نیروی ناشی از نازل، $N$
$F_x$	نیروی افقی وارد بر پرنده، $N$
$F_y$	نیروی قائم وارد بر پرنده، $N$
$g$	شتاب گرانش زمین، $m/s^2$
$L$	طول شیلنگ، $m$
$\dot{m}$	دبی جرمی آب، $kg/s$
$P$	فشار خروجی نازل، $Pa$
$P_0$	فشار اتمسفر، $Pa$
$Q$	دبی سیال، $m^3/s$
$S$	طول کابل، $m$
$T_0$	نیروی کشش شیلنگ در مبدأ مختصات، $N$
$T_{max}$	نیروی کشش شیلنگ در اتصال به پرنده، $N$
$v$	سرعت سیال خروجی، $m/s$

## علائم یونانی

$\alpha$	زاویه نازل نسبت به افق، °
$\theta$	زاویه شیلنگ نسبت به افق، °
$\mu$	جرم واحد طول، $kg/m$
$\rho$	چگالی، $kg/m^3$

## ۱- مقدمه

بررسی نیروی ناشی از جت آب و شیلنگ در پهپادها با توجه به تامین شرایط پایدار برای وسیله پرنده، از اهمیت خاص خود برخوردار می‌باشد. در این سامانه‌ها، وزن سیال، شیلنگ و نیروی عکس‌العملی نازل، باعث وارد شدن نیروهای ناخواسته زیادی به وسیله پرنده شده و لحاظ کردن آن‌ها در طراحی ضروری می‌باشد. با توجه به اهمیت طراحی نازل‌ها و زاویه پاشش، تحقیقات مختلفی در صنایع گوناگون مانند پژوهش ممتحن و همکارانش [۱]، انجام شده است. مقالات ورمزریار و همکاران [۲] و اخوین انصاری و همکاران [۳] نیز به مطالعه جت سیال در شرایط خاص پرداخته‌اند. در مواردی هم فشار بالا و شرایط نازل، باعث

ترکیب سیال و هوا پس از خروج از نازل شده و پدیده اتمیزاسیون ایجاد می‌گردد. در تحقیق قاسمی و موسویان [۴] به بررسی تجربی پدیده اتمیزاسیون پرداخته شده است. با توجه به فشار و دبی جریان، همواره ایجاد تکانه بر اثر جت آب مورد انتظار هست که در تحقیق یوسفی‌فرد و همکارانش [۵] و حسینی و همکاران [۶] به طراحی سامانه‌ای برای حرکت یک شناور بدین وسیله پرداخته شده است. در این زمینه، پژوهش وریسیمو و مندز [۷] به طراحی و بررسی نیروهایی که نازل شیلنگ آشنشانی به آتش‌نشان وارد می‌کند، پرداخته است. تین هیون و همکارانش [۸] به سه نوع سیستم سیالاتی مورد استفاده در آتش‌نشان اشاره دارند. این سیستم‌ها از نیروی جت آب برای ایجاد مانورپذیری بیشتر در طراحی سامانه پهپادی پاشش سیال استفاده می‌کنند. یکی از تحقیقات در زمینه پاشش سیال در هوا با کمک شیلنگ روی زمین، مقاله لی و هوین [۹] می‌باشد که به وسیله عملگرهای جت آبی به کنترل حرکت نازل یک سیستم پاشش سیال می‌پردازد. در ادامه، دین و هوین [۱۰] به اهمیت اثرات نیروی عکس‌العملی نازل پرداخته و برای جبران آن مرکز جرم مجری نهایی نازل را در حین پاشش تغییر می‌دهند. بررسی سیالاتی اثرات تکانه و نیرویی، این امکان را به ربات آشنشان دراگون، ساخته شده توسط آندو و همکارانش [۱۱] می‌دهد تا بتواند با لحاظ کردن نیروهای ناشی از وزن سیال و نیروی جت آب، شیلنگی ۴ متری را به ارتفاع برده و عملیات اطفاء را با نازل‌های مه‌پاش انجام دهد. با الهام‌گیری از این نوع سیستم‌های منعطف و پیوسته، پژوهش‌های یاماوچی و همکارانش [۱۲] و [۱۳] در ادامه آن برای کنترل نیروی جت آب در سیستم‌های پاشش سیال در هوا انجام شدند. یکی دیگر از حوزه‌هایی که با انتقال سیال به ارتفاع سروکار دارد، شامل پهپادهای با قابلیت انجام پاشش آب در ارتفاع، در عملیات شستشو یا آتش‌نشان می‌شود. با توجه به ماهیت پاشش با فشار بالا در این پهپادها و نیروی تکانه ناشی از پاشش، تحقیقات دو گانه همنت و اوه [۱۴] و [۱۵] روی دینامیک این پهپادها و کنترل اثرات ناشی از حمل وزن شیلنگ پرداخته است. از اهمیت بررسی نیروهای ناشی از سیال و وزن آب، می‌توان به طراحی کنترلرهای پهپادهای پاشنده سیال اشاره کرد. آندو و همکاران [۱۶] و همچنین لی و همکارانش [۱۷] با

زیر سامانه‌ها مانند شیلنگ و نازل، سنجیده شده است. در ادامه با مقایسه روابط توسعه داده شده با نتایج آزمایش تجربی، می‌توان از دقت معادلات توسعه داده شده اطمینان حاصل کرد.

## ۲- توسعه روابط تئوری

### ۲-۱- نیروها در ارتفاع

در این بخش با استفاده از روابط تئوری مطرح شده در مرجع [۲۲] تخمینی از نیروهای وارد بر وسیله پرنده در ارتفاع مورد نظر بدست آمده و در ادامه با استفاده از نتایج آزمایشات نیروهای جت آب، این تخمین‌ها صحت‌سنجی شده و خطای آن‌ها محاسبه شده اند. سپس پس از بررسی دقت روابط تئوری، به پیش‌بینی نیروها در شرایط مختلف پرداخته شده است.

در محاسبه نیروهای وارده به وسیله پرنده عوامل متعددی تأثیرگذار هستند. این موارد که به‌عنوان ورودی برای محاسبه نیروهای وارد بر پهپاد استفاده می‌شود، به شرح زیر است:

- فاصله پهپاد از پمپ (طول و ارتفاع)
  - دبی و فشار کاری سیال
  - جرم و قطر شیلنگ
  - نوع نازل و زاویه نازل نسبت به افق
- واحد ورودی‌های لازم برای محاسبه نیروهای وارد بر وسیله پرنده در جدول ۱ آورده شده است.

### جدول (۱): پارامترهای ورودی مسئله محاسبه نیروهای

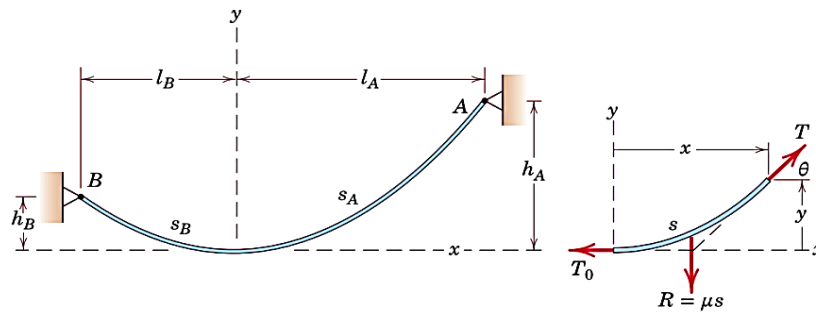
وارد بر پرنده

واحد	پارامتر
متر [m]	فاصله (از پمپ)
متر [m]	فاصله (ارتفاع)
لیتر بر دقیقه [LPM]	دبی سیال
متر [m]	قطر شیلنگ
کیلوگرم بر مترمکعب [kg/m <sup>3</sup> ]	چگالی سیال
کیلوگرم بر متر [kg/m]	جرم بر واحد طول شیلنگ
درجه [°]	زاویه نازل با افق
متر [m]	قطر خروجی نازل

بررسی نیروهای عکس‌العملی ناشی از شیلنگ سیال، به کنترل این نیرو در پهپادها پرداخته‌اند و حتی در نمونه‌هایی برای جبران اثرات ناشی از این نیروهای اغتشاشی از فن‌هایی با نام ATD استفاده شده است. تحقیق ویگاس و کارلوس [۱۸] زاویه رو به پایین نازل آب پهپاد آتش‌نشان در جنگل‌ها را مطالعه کرده و به بررسی نیروی جلوبرندگی سیال و اثرات آن در مداومت پروازی پرنده پرداخته است. تحقیق الجابر و همکاران [۱۹] به صورت تجربی به اثرات نیروی ناشی از دبی ۱۶ لیتر بر دقیقه‌ای بر یک نمونه از پهپاد در ارتفاع پرداخته است. از طرفی با توجه به کارکرد پاشش سیال در ارتفاع، علاوه بر بررسی نیروی سیال، برد پاشش هم دارای اهمیت می‌باشد. ژو و همکاران [۲۰] با طراحی و شبیه‌سازی مانیتور پاشش آب، به بررسی مسیر و برد جت آب به صورت شبیه‌سازی و تجربی پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده از تست و شبیه‌سازی نشان دادند که با افزایش دادن دو عامل موثر سرعت جت آب از ۱۳/۵ m/s تا ۲۶/۴ m/s و زاویه پاشش از ۲۰° تا ۴۰°، افزایش همزمان ارتفاع و برد پرتاب مشاهده می‌گردد. در تحقیقی دیگر توسط گوان و همکاران [۲۱]، با استفاده از حل معادله دیفرانسیل پاشش آب از مانیتور آتش‌نشانی با استفاده از روش رانگ کوتا و مقایسه‌ی آن با نتایج تجربی، به این نتیجه رسیدند که بیشترین برد پاشش سیال در زاویه‌ی ۱۵° تا ۳۰° درجه اتفاق می‌افتد.

در این مقاله، هدف محاسبه نیروی لازم برای کنترل یک سامانه پاشش سیال، هنگام پاشش آب از ارتفاع است. این سامانه شامل شیلنگ، نازل، پمپ آب و اتصالات برای پاشش آب از ارتفاع می‌باشد. بدیهی است که نوع و مشخصات پمپ، شیلنگ و نازل مورد استفاده، تأثیر مستقیمی بر روی دبی و فشار آب خروجی از نازل نصب شده روی این سامانه پهپادی دارد و به تبع، میزان دبی و فشار سر نازل و همچنین نوع نازل مورد استفاده تأثیر مستقیمی بر برد سیال و نیروی عکس‌العمل وارد شده برای مهار آن دارد.

در این مقاله برای محاسبه نیروهای لازم برای مهار شیلنگ و نازل، معادلاتی توسعه داده شده و در ادامه به جهت راستی‌آزمایی و اطمینان از صحت نتایج، آزمایشاتی طراحی شده‌اند که در آن‌ها تغییرات عملکرد سامانه با تغییر



شکل (۱): منحنی یک کابل تحت تاثیر وزن خودش [۲۲]

از این رو توزیع نیرو در راستای عمودی و افقی ناشی از وزن کابل، مشخص می‌شود.

### ۲-۱-۳- تخمین وزن آب

نیروی ناشی از جریان سیال آب، به دو طریق بر پرند اعمال می‌شود:

- وزن آب درون شیلنگ
- نیروی ناشی از خروج جت آب از نازل

#### ۲-۱-۳-۱- نیروی ناشی از وزن آب

برای شبیه‌سازی وزن آب درون شیلنگ، به دلیل شباهت شیلنگ با کابل، از معادلات کابل برای ساده‌سازی استفاده شده است. باتوجه به اینکه تنها فرق این دو محاسبه، تفاوت جرم در طول واحد برای آب و شیلنگ است، برای محاسبه نیروی وارد به وسیله پرند ناشی از وزن آب، مقدار  $\mu$  کلی از وزن آب و شیلنگ در روابط اعمال شده است.

#### ۲-۱-۳-۲- نیروی ناشی از خروج جت آب

برای شبیه‌سازی نیروی ناشی از خروج جت آب از نتایج آزمایش نیروی جت آب استفاده شده است.

#### ۲-۱-۴- محاسبه نیروی وارد بر وسیله پرند

نیروی وارد به پرند در صورتی که نیروی خارجی وجود نداشته باشد، ناشی از وزن شیلنگ و آب درون آن و همچنین نیروی ناشی از جت آب می‌باشد. حال با داشتن توزیع وزن شیلنگ و آب و همچنین نیروی ناشی از جت آب می‌توان نیروی وارد بر پرند را با استفاده از رابطه ۵ محاسبه نمود.

$$\begin{aligned} F_x &= T_{\max} \cos \theta + F_{\text{nozzle}} \cos \alpha \\ F_y &= T_{\max} \sin \theta + F_{\text{nozzle}} \sin \alpha \end{aligned} \quad (۵)$$

### ۲-۱-۲- تخمین وزن شیلنگ

وزن شیلنگ در حالتی که پهناد در حال پرواز است توسط خود پهناد و محل اتصال به پمپ تحمل می‌شود. برای محاسبه دقیق‌تر این توزیع وزن، مطابق شکل ۱، شیلنگ با یک کابل معادل سازی شده و جهت محاسبه نیروی شیلنگ آویزان طبق مرجع [۲۲] عمل می‌شود تا میزان نیرویی که به پرند وارد می‌شود به دست آید. طبق محاسبات گزارش شده در مرجع [۲۲]، رابطه منحنی یک کابل که تنها تحت تاثیر وزن خودش است به صورت رابطه ۱ می‌باشد:

$$y = \frac{T_0}{\mu} \left( \cosh\left(\frac{\mu x}{T_0}\right) - 1 \right) \quad (۱)$$

در این رابطه  $y$  و  $x$  مختصات یک نقطه از منحنی کابل،  $T_0$  کشش کابل در مبدا مختصات (پایین‌ترین نقطه کابل)  $\mu$  جرم واحد طول کابل است. مقدار  $\mu$  با داشتن مشخصات کابل (در اینجا همان شیلنگ) معلوم می‌گردد. با داشتن مقدار  $y$  و  $x$  مختصات وسیله پرند، مقدار  $T_0$  از رابطه ۱ به دست می‌آید. همچنین نیروی کشش کابل در نقاط مختلف از رابطه ۲ قابل محاسبه است. بنابراین برای داشتن نیروی شیلنگ در محل اتصال به پرند کافیست مختصات پرند در رابطه وارد شود.

$$T = T_0 + \mu y \quad (۲)$$

و برای به دست آوردن طول و شیب شیلنگ از رابطه ۳ و رابطه ۴ استفاده شده است:

$$S = \frac{T_0}{\mu} \sinh \frac{\mu x}{T_0} \quad (۳): \text{رابطه طول کابل}$$

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{\mu S}{T_0} \quad (۴): \text{رابطه شیب کابل}$$

### ۳- آزمایش‌های تجربی

#### ۳-۱- آزمایش تعیین نقاط کاری سیستم

##### ۳-۱-۱- هدف آزمایش

هدف از آزمایش این است که با فراهم نمودن شرایط و تجهیزات مدنظر و مقایسه با مقادیر نظری، رفتار سامانه را به صورت عملی مشاهده کرده و با ثبت رفتار سامانه، طراحی مناسبی برای سامانه‌های پاشش سیال در پروژه‌های آبی حاصل شود.

دبی و فشار کاری یک سیستم سیالاتی به ویژگی‌های اجزای مختلف آن مانند: پمپ، شیلنگ، لوله‌ها، اتصالات و ... بستگی دارد. در این آزمایش سیال آب درون یک مخزن، از طریق پمپی وارد مسیری متشکل از شیلنگ و نازل شده که با استفاده از فشارسنج و دبی‌سنج، دبی و فشار کاری این سیستم ثبت شده‌اند. برای این کار از وسایل زیر استفاده شده است:

- مخزن ۱۰۰۰ لیتری آب.

- پمپ دبی بالا مدل WKL۴۰۱۰ با مشخصات جدول ۲

جدول (۲): مشخصات پمپ استفاده شده در آزمایش

توان مصرفی	دور پمپ	فشار	Q (دبی)
۵/۵ kW	۱۴۵۰ rpm	۹/۴ bar	۱۳۳/۳۳ LPM

- دو عدد فشارسنج با قابلیت اندازه‌گیری فشار تا ۱۶ بار

- یک عدد دبی‌سنج آب با قابلیت اندازه‌گیری دبی تا ۱۵۰ لیتر بر دقیقه

- ۲۰ m شیلنگ ۳/۴ in و ۲۰ m شیلنگ ۱ in

- نازل‌های انتخاب شده، اتصالات و تبدیل‌های لازم برای اتصال بین پمپ و مخزن، دبی‌سنج و فشارسنج‌ها و نازل، شامل:

- لوله‌های پلی‌اتیلن، تبدیل‌های گالوانیزه و ...
- شیرفلکه‌ای برای کنترل جریان آب بعد از پمپ.
- شیر باز و بسته کردن مسیر حرکت آب برای بعد از مخزن و قبل از پمپ.
- مکانیزمی همچون بالابر، یک برجک یا سامانه پهپادی برای بالابردن نازل متصل به شیلنگ.

پس از آماده‌سازی تجهیزات و بررسی اتصالات پمپ و شیلنگ، با استفاده از مکانیزم یا سامانه مدنظر برای افزایش ارتفاع مانند سامانه پهپادی در شکل ۲، نازل همراه شیلنگ بالا برده می‌شود. شماتیکی از نحوه‌ی اتصال اجزای تست در شکل ۳ نشان داده شده است.

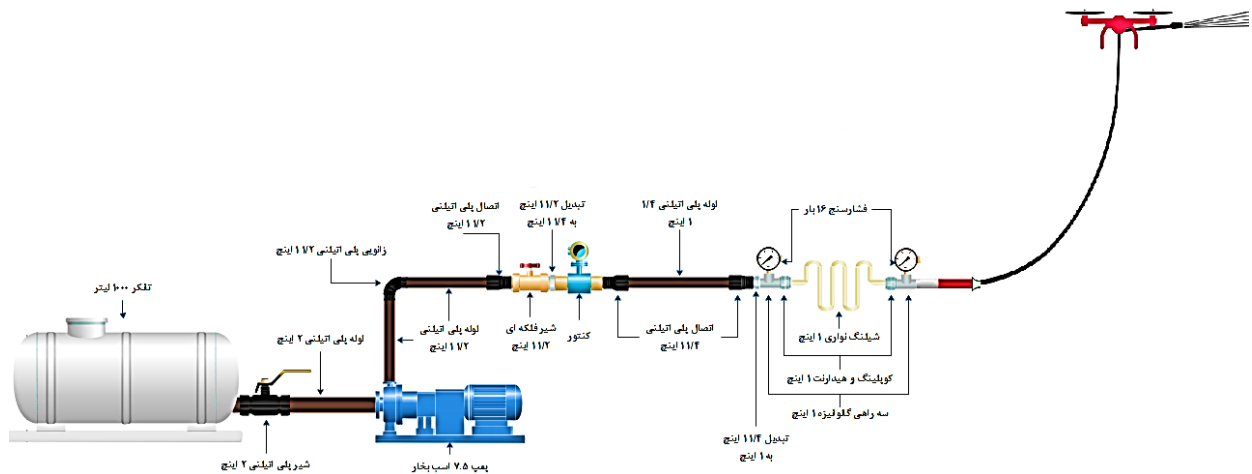
در این آزمایش، دبی و فشار سامانه، بر اساس عملکرد آن از روی پمپ واقع در زمین ثبت شده‌اند. بدیهی است، با افزایش ارتفاع سامانه پهپادی، فشار و دبی پاشش سیستم تغییر کرده و همچنین بر وزن شیلنگ متصل به سامانه افزوده می‌شود.

در این آزمایش، برای محاسبه نیرو در راستای نازل، از زاویه نازل نسبت به افق صرف‌نظر شده است. زیرا با تغییر زاویه نازل، دبی و فشار کاری سیستم تغییری نمی‌کند. پس از اندازه‌گیری نیرو، توزیع مؤلفه‌های افقی و عمودی نیروی جت آب مطابق با رابطه ۵ قابل‌محاسبه است.



شکل (۲): سامانه پهپادی پاشش سیال استفاده شده برای مطالعه اثرات تغییر شیلنگ، نازل، دبی و فشار

مطابق شکل ۲، سامانه پهپادی با بالا بردن شیلنگ متصل به پمپ، پاشش سیال را در ارتفاع انجام می‌دهد. این سامانه قابلیت نصب و آزمایش نازل‌ها و شیلنگ‌های مختلف را دارا می‌باشد. با این وجود در جهت رعایت دستورالعمل‌های ایمنی، هر یک از آزمایش‌ها، در ارتفاعات پایین‌تر انجام شده است. چرا که با بالا رفتن وسیله پرنده، بر وزن شیلنگ افزوده شده و انجام آزمایش در ارتفاعات بالاتر، شرایط بحرانی‌تری را ایجاد می‌کند.



شکل (۳): شماتیک اجزای تست و نحوه قرارگیری آن ها

### جدول (۳): مشخصات مراحل آزمایش نقاط کاری سیستم

ارتفاع (متر)	قطر نازل	شیلنگ	شماره مرحله	
۱	ورودی: ۱ اینچ خروجی: ۹ میلی متر	شیلنگ ۱ اینچ نواری (طول: ۸/۷ متر)	۱	
			۲	
			۳	
	ورودی: ۳/۴ اینچ خروجی: ۹ میلی متر	شیلنگ ۱ اینچ نواری (طول: ۱۹/۷ متر)	شیلنگ ۱ اینچ نواری (طول: ۱۹/۷ متر)	۴
				۵
			شیلنگ ۳/۴ اینچ هوزریلی (طول: ۲۵ متر)	۶
۱۱/۸	شیلنگ ۱ اینچ نواری (طول: ۱۹/۷ متر)	شیلنگ ۱ اینچ نواری (طول: ۱۹/۷ متر)	۷	
۷/۵			۸	
۱۱/۸	شیلنگ ۳/۴ اینچ هوزریلی (طول: ۱۵ متر)	شیلنگ ۳/۴ اینچ هوزریلی (طول: ۱۵ متر)	۹	
شیر کاملاً باز در ارتفاع‌های مختلف			۱۰	
زمین	بدون نازل <sup>۳</sup>	شیلنگ ۱ اینچ نواری (طول: ۸/۷ متر)	۱۱	
		شیلنگ ۱ اینچ نواری (طول: ۸/۷ متر)	۱۲	

۱- نواری: شیلنگ برزنتی از نوع شیلنگ آتش نشانی

۲- هوزریلی: شیلنگی پلاستیکی پیچیده شده دور قرقره

۳- بدون نازل: پاشش عادی و بدون نازل

### ۳-۱-۲- روش انجام آزمایش

پس از پر کردن مخزن آب، شیر به صورت نیمه باز قرار داده شده است. با استفاده از بالابر یا سامانه پرنده، نازل در ارتفاع مورد نظر، ۱۰ m، قرار گرفته است. پس از اطمینان از پایداری کل سیستم، پمپ به برق متصل شده تا سیستم شروع به کار کند. با رسیدن جریان به حالت پایا، با استفاده از دبی سنج و فشارسنج‌ها، دبی و فشار کاری سیستم ثبت گردیده است. سپس شیر در حالت‌های مختلف قرار داده شده و مجدد عمل داده برداری انجام شده است.

با پایان داده برداری، پمپ خاموش و شیر به حالت نیمه باز برگردانده شده است. همین مراحل برای ارتفاع‌های مختلف (۱ و ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ متر) و شیلنگ‌ها و نازل‌های گوناگون انجام شده و نتایج مختلف ثبت شده اند. با به دست آوردن داده‌ها، در صورت وجود دستورالعمل‌های ایمنی منع کننده از آزمایش در ارتفاع بالاتر، ۲۰ m، آزمایش در ارتفاع پایین انجام گرفته و سپس با استفاده از نتایج حاصله، تخمینی از عملکرد سامانه در ارتفاع، ۲۰ m، استخراج شده است.

### ۳-۱-۳- داده برداری از آزمایش‌ها

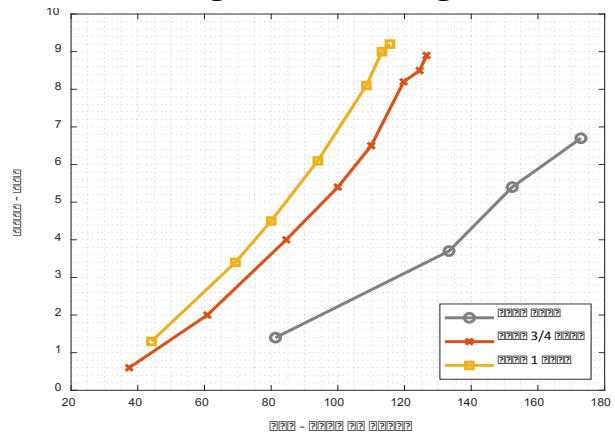
ثبت فشار و دبی سامانه پاشش سیال در ۱۲ مرحله مطابق جدول ۳ انجام شده است. مطابق این جدول، شیلنگ در دو حالت نواری و هوزریلی در قطرهای ۳/۴ و ۱ اینچ بررسی شده است. همچنین این شیلنگ‌ها، در شرایط بدون نازل و نازل با قطر 9 mm مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ارتفاع سامانه پاشش در جدول ۳ ثبت شده است.

### ۳-۱-۴- بررسی تاثیر نازل

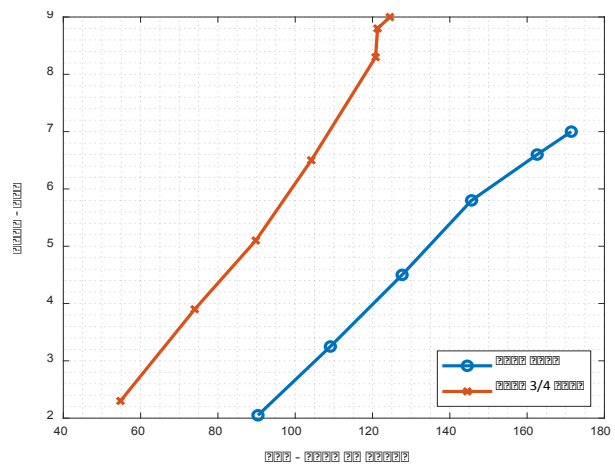
با استفاده از نتایج آزمایش، تأثیر نوع نازل بر نقاط کاری سیستم ۱ in در شکل ۴ قابل مشاهده است.

همان طور که مشاهده می شود، در اثر نبود نازل، برای عبوردهی یک دبی خاص به فشار کمتری نیاز است، همچنین از آنجایی که نازل شیلنگ ۱ in، به دلیل یک شیر درونی دارای افت هد است، نسبت به نازل شیلنگ 3/4 in (با قطر خروجی یکسان) نیاز به فشار بالاتری دارد.

با استفاده از نتایج مراحل ششم و یازدهم، تأثیر نازل بر نقاط کاری سامانه 3/4 in در شکل ۵ قابل مشاهده است. این شکل نشان می دهد که عدم استفاده از نازل 9 mm، به صورت قابل توجهی افت فشار را کاهش می دهد.



شکل (۴): نمودار تاثیر نازل بر فشار قبل از شیلنگ برای شیلنگ ۱ in



شکل (۵): نمودار تاثیر نازل بر فشار قبل از شیلنگ برای شیلنگ 3/4 in

### ۳-۱-۵- بررسی تاثیر قطر شیلنگ

با استفاده از نتایج مراحل یازدهم و دوازدهم، تأثیر قطر شیلنگ (در حالت بدون نازل)، بر نقاط کاری سیستم در شکل ۶ قابل مشاهده است.

نمودار شکل ۶ نشان می دهد که عبوردهی یک دبی خاص از شیلنگ ۱ in به فشار کمتری نسبت به شیلنگ 3/4 اینچ نیاز دارد. عاملی که موجب افت فشار در شیلنگ شده، اصطکاک درونی شیلنگ است. در واقع زبری، طول، قطر و سرعت جریان سیال عبوری درون شیلنگ، در کاهش یافتن فشار خروجی نسبت به فشار ورودی تأثیر گذار می باشند. برای محاسبه مقدار افت فشار ناشی از اصطکاک از فرمول داری ویسباخ، رابطه ۶ استفاده شده است.

$$h_f = f \frac{L}{d} \times \frac{V^2}{2g} \quad (۶)$$

شیلنگ ۱ in و 3/4 in در این آزمایش در سرعت جریان (V) و قطر (d) متفاوت هستند. با توجه به قطر کمتر شیلنگ 3/4 اینچ و سرعت (V) بیشتر این شیلنگ، بنابر قانون پیوستگی در دبی ثابت، نتیجه گرفته می شود که افت هد ناشی از اصطکاک (h<sub>f</sub>)، در شیلنگ 3/4 in بیشتر بوده و برای جبران این افت، به فشار بیشتری برای عبور دادن دبی یکسان نسبت به شیلنگ ۱ in نیاز دارد.

### ۳-۱-۶- بررسی تاثیر ارتفاع شیلنگ

با استفاده از داده برداری مراحل پنجم، هفتم و هشتم، تأثیر ارتفاع نازل بر نقاط کاری سیستم شیلنگ ۱ in در شکل ۷ تا شکل ۹ قابل مشاهده است.

رابطه بهترین منحنی عبوری از نقاط نمودار شکل ۷ بصورت رابطه ۷ حاصل شده است. با استفاده از این رابطه و با برون یابی داده ها، می توان از میزان دبی سیستم هنگام انجام عملیات در ارتفاع ۲۰ متری، تخمینی مطابق رابطه ۸ بدست آورد.

$$y = -0.0267x^2 - 0.2134x + 115.18 \quad (۷)$$

$$Q_{20} = -0.0267(20)^2 - 0.2134 + 115.18 = 100.23 \text{ lpm} \quad (۸)$$

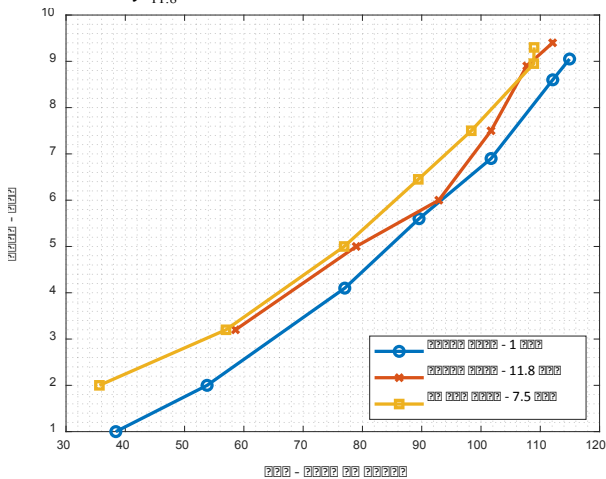
بنابراین، انتظار می رود با استفاده از شیلنگ ۱ in و پمپ انتخاب شده، پس از قرارگیری نازل در ارتفاع ۲۰ متر،

رابطه بهترین منحنی عبوری از نقاط نمودار شکل ۸ بصورت رابطه ۹ حاصل شده است. با استفاده از این معادلات، داشتن دبی، فشار در مراحل ۵، ۷ و ۸ قابل محاسبه است.

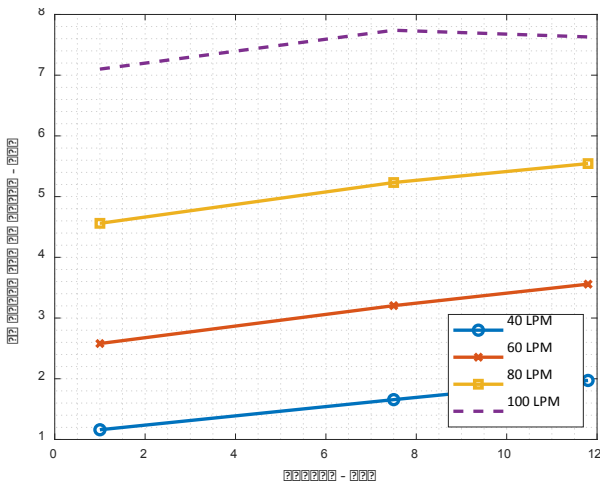
$$y_1 = 0.0007x^2 + 0.001x$$

$$y_{7.5} = 0.0006x^2 + 0.0174x$$

$$y_{11.8} = 0.0005x^2 + 0.0293x \quad (9)$$



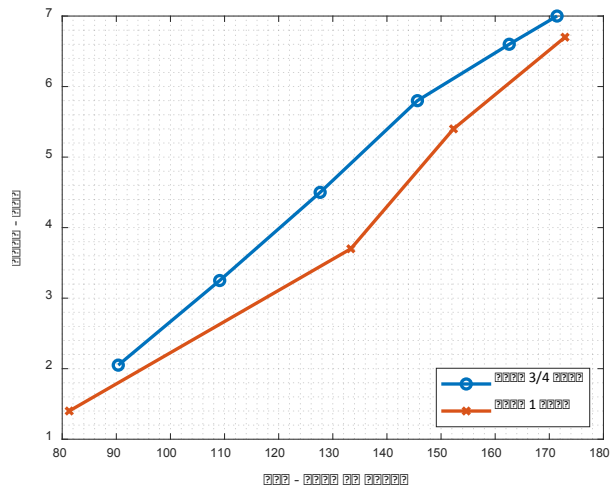
شکل (۸): نمودار فشار قبل از شیلنگ بر حسب دبی برای شیلنگ ۱ اینچ



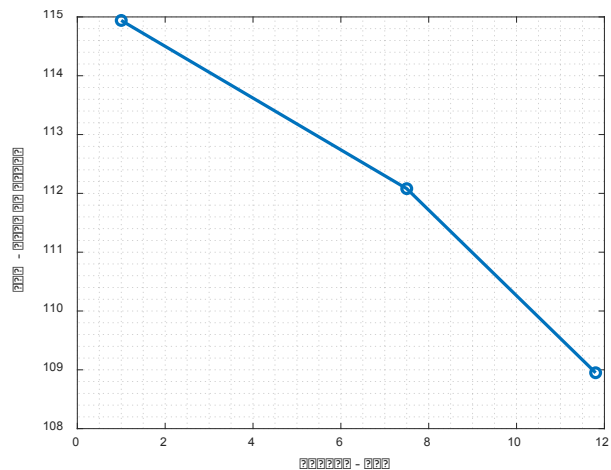
شکل (۹): نمودار هد فشاری قبل از شیلنگ بر حسب ارتفاع نازل برای شیلنگ ۱ اینچ

تغییرات فشار در اثر افزایش دبی در ارتفاع ثابت پهباد، در شکل ۸ نمایش داده شد. جهت بررسی افت فشار خروجی پمپ بر اثر افزایش ارتفاع پهباد، آزمایشی دیگر در ۴ دبی ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ لیتر بر دقیقه ای مطابق شکل ۹، انجام شده است.

بیشترین دبی سیستم به میزان ۱۰۰/۲۳ لیتر بر دقیقه حاصل شود.



شکل (۶): نمودار فشار بر حسب دبی برای مراحل یازدهم و دوازدهم



شکل (۷): نمودار دبی بر حسب ارتفاع نازل برای شیلنگ ۱ اینچ (شیر کاملاً باز)

در داده‌های نمودار شکل ۷، پمپ از الکتروموتور دور ثابت استفاده کرده و غیر از ارتفاع، تمامی شرایط در طول آزمایش یکسان است و لذا پمپ شرایط یکسانی در طول افزایش ارتفاع دارد. با بررسی نمودار شکل ۷ و رابطه ۸، اختلاف دبی پاشش کمتر از ۵ درصد تفاوت دارد. همچنین با توجه به رابطه ۸، در ارتفاع بالاتر خطا کمتر از ۵ درصد می‌شود.

با تغییر دادن دبی عبوری در هر یک از ارتفاعات شکل ۷، نمودار شکل ۸ حاصل می‌شود.



می‌توان با وارد نمودن دبی پاشش سیال سامانه  $(x)$ ، بر اساس ارتفاع، فشار معادل وارد بر پهپاد را بدست آورد.

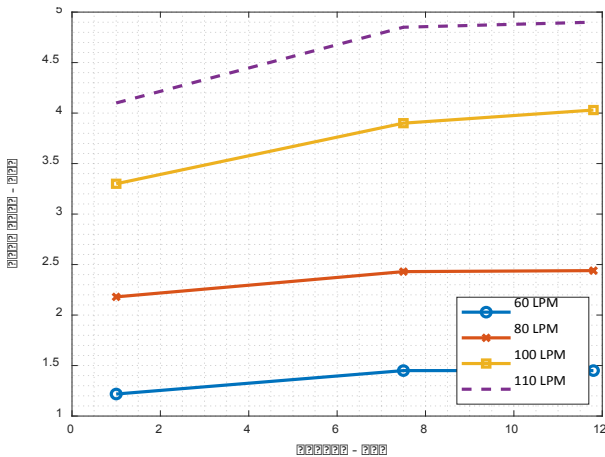
$$y_1 = 0.0004x^2 - 0.0037x$$

$$y_{7.5} = 0.0004x^2 - 0.001x$$

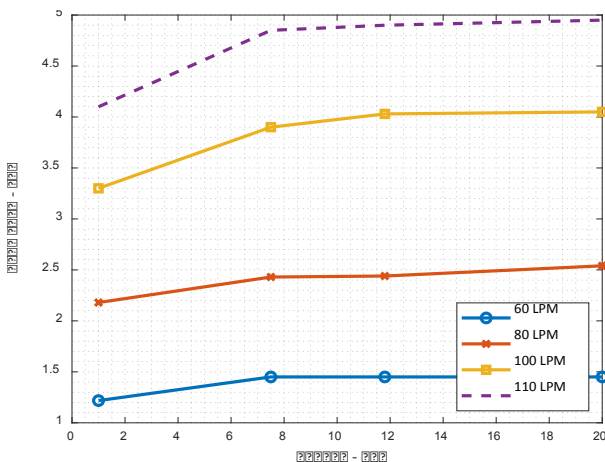
$$y_{11.8} = 0.0005x^2 - 0.0061x \quad (10)$$

با انجام آزمایش در ۴ دبی ثابت و افزایش ارتفاع نازل، داده‌های نمودار شکل ۱۲ حاصل شده است.

در ادامه با برون‌یابی داده‌های شکل ۱۲ می‌توان تخمینی از فشار خروجی سامانه در ارتفاع ۲۰ متر بدست آورد. داده‌های این برون‌یابی در نمودار شکل به تصویر کشیده شده است.



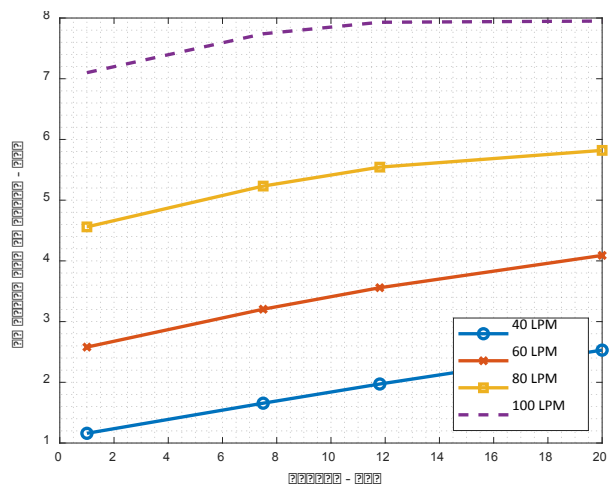
شکل (۱۲): نمودار فشار بعد از شیلنگ بر حسب ارتفاع نازل برای شیلنگ ۱ اینچ



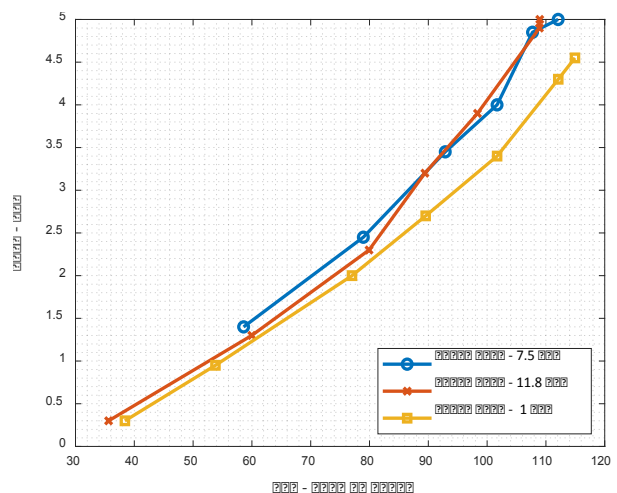
شکل (۱۳): نمودار برون‌یابی شده فشار بعد از شیلنگ بر حسب ارتفاع نازل برای شیلنگ ۱ اینچ

باتوجه به هدف آزمایش، یعنی پیش‌بینی رفتار سامانه در ارتفاع بالاتر، شکل ۹ برون‌یابی شده و فشار در ارتفاع ۲۰ متر مطابق نمودار شکل ۱۰ حاصل شده است.

جهت تعیین فشار بعد از شیلنگ که بر سامانه پرنده وارد می‌شود، در این قسمت، آزمایشی معادل، در بالای یک ساختمان در ارتفاع ۱۱/۸ متر و ۷/۵ متر انجام شده است. در این حالت فشارسنج در خروجی شیلنگ وصل شده و داده‌های این آزمایش، مطابق شکل ۱۱ ثبت شده است.



شکل (۱۰): نمودار برون‌یابی شده هد فشاری قبل از شیلنگ بر حسب ارتفاع نازل برای شیلنگ ۱ اینچ



شکل (۱۱): نمودار فشار بعد از شیلنگ بر حسب دبی برای شیلنگ ۱ اینچ

رابطه بهترین منحنی عبوری از نقاط نمودار شکل ۱۱ به صورت رابطه ۱۰ حاصل شده است. با استفاده از این معادلات

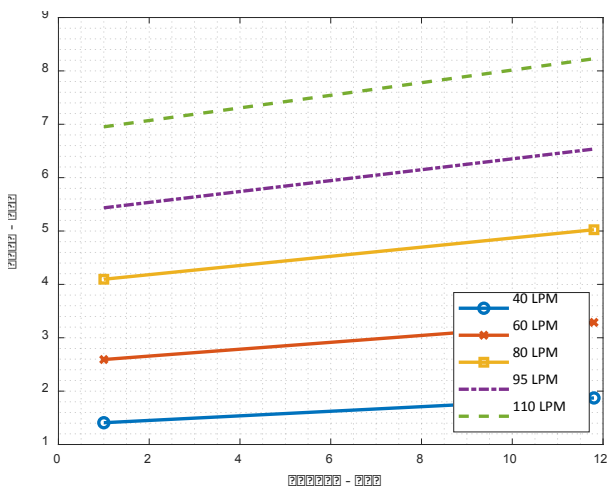
آزمایش فشار خروجی پمپ در مراحل ششم و نهم مطابق شکل ۱۵ ثبت شده است.

رابطه بهترین منحنی عبوری از نقاط نمودار شکل ۱۵ به صورت روابط ۱۱ حاصل شده است. با استفاده از این معادلات می توان فشار پمپ در دبی دلخواه را در ارتفاعات ۱ و ۱۱/۸ متر بدست آورد.

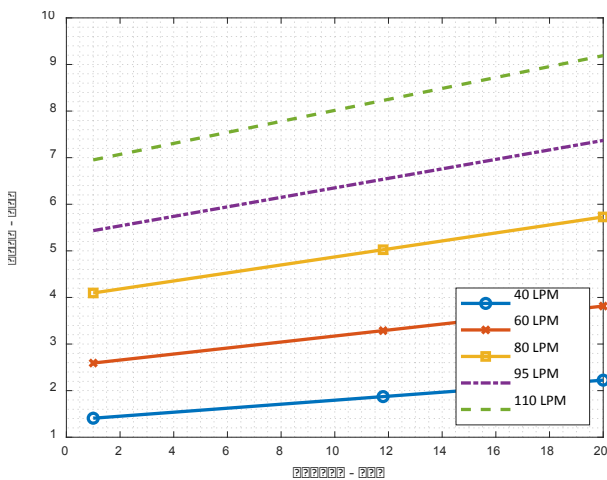
$$y_1 = 0.0004x^2 + 0.0192x \tag{11}$$

$$y_{11.8} = 0.0004x^2 + 0.0308x$$

بررسی فشار قبل از شیلنگ بر اثر افزایش ارتفاع در ۵ دبی مختلف، در شکل ۱۶ به تصویر کشیده شده است.



شکل (۱۶): نمودار فشار قبل از شیلنگ بر حسب ارتفاع نازل برای شیلنگ ۳/۴ اینچ

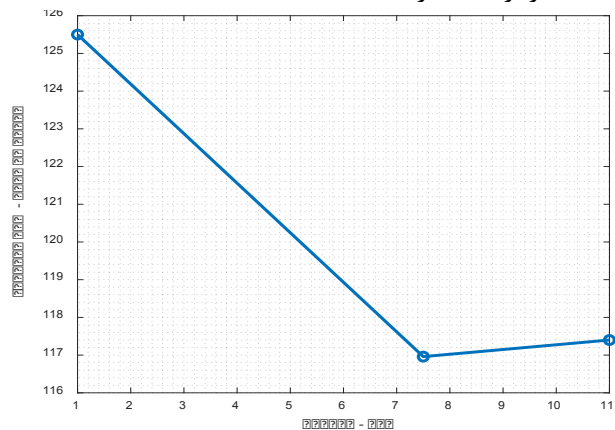


شکل (۱۷): نمودار برون یابی شده فشار قبل از شیلنگ بر حسب ارتفاع نازل برای شیلنگ ۳/۴ اینچ

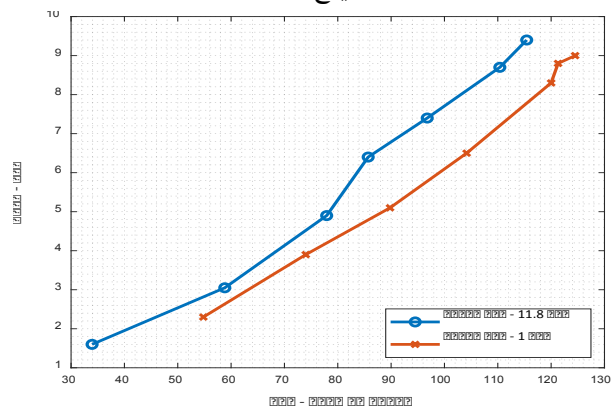
باتوجه به نمودار شکل ۱۳ در صورتی که دبی پاشش سیال برابر ۱۱۰ لیتر بر دقیقه در ارتفاع ۲۰ متر، مد نظر باشد، فشار وارد بر پرند با مشخصات پمپ دبی بالا ذکر شده در جدول ۲، فشاری برابر با ۴/۹۵ بار بر سامانه پرند وارد می گردد.

در بخش دوم آزمایش، شیلنگ ۳/۴ اینچ مورد بررسی قرار گرفته است. مانند شیلنگ ۱ اینچ، فشار پیش از شیلنگ و پس از شیلنگ به ترتیب با سامانه پهنپادی و بالابردن نازل در بالای ساختمان انجام شده است. با استفاده از نتایج مراحل ششم، نهم و دهم، تاثیر ارتفاع نازل بر نقاط کاری سیستم شیلنگ ۳/۴ اینچ در شکل ۱۴، شکل ۱۵ و شکل ۱۸ قابل مشاهده است.

باتوجه به نمودار شکل ۱۴ انتظار می رود با استفاده از شیلنگ ۳/۴ اینچ و پمپ انتخاب شده، پس از قرارگیری نازل در ارتفاع ۲۰ متر، بیشترین دبی سیستم حدوداً به میزان ۱۱۰ لیتر بر دقیقه برسد.



شکل (۱۴): نمودار تاثیر ارتفاع نازل بر دبی برای شیلنگ ۳/۴ اینچ



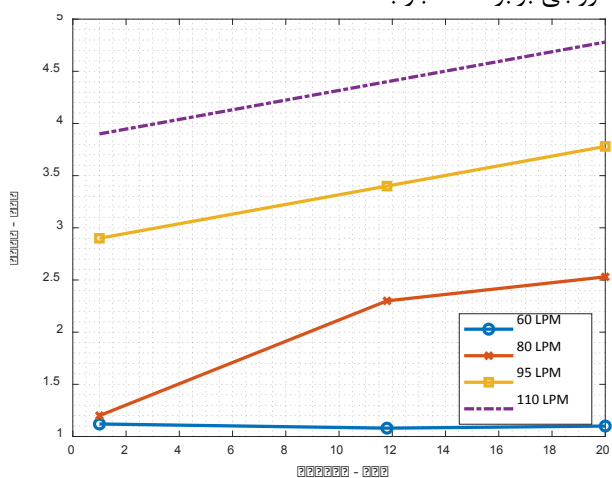
شکل (۱۵): نمودار فشار قبل از شیلنگ بر حسب دبی برای شیلنگ ۳/۴ اینچ

$$y_1 = 0.0004x^2 - 0.0052x \quad (12)$$

$$y_{11.8} = 0.0004x^2 - 0.0055x$$

با مرتب‌سازی داده‌های شکل ۱۸ بر حسب ارتفاع، نمودار شکل ۱۹ حاصل شده است.

بنابراین، با برون‌یابی داده‌های شکل ۱۹ می‌توان تخمینی از فشار قبل از شیلنگ سیستم در ارتفاع ۲۰ متر بدست آورد. نتیجه این برون‌یابی در شکل ۲۰ آمده است. مطابق شکل ۲۰ انتظار می‌رود در طراحی‌ای که دبی مد نظر ۸۰ لیتر بر دقیقه ای باشد، در ارتفاع ۲۰ متری، فشار خروجی برابر ۲/۵۳ بار باشد.



شکل (۲۰): نمودار برون‌یابی شده فشار بعد از شیلنگ بر حسب ارتفاع نازل برای شیلنگ ۳/۴ اینچ

### ۱-۶-۳- تخمین نقاط کاری در ارتفاع

بر اساس نتایج و داده‌ها، برای نقاط عملکردی سامانه در ارتفاع ۲۰ متری نازل، جدول ۴ حاصل شده است. میزان خطای این جدول، پس از اطمینان از کالیبراسیون فشارسنج‌ها و تکرار ۳ باره آزمایش، ناچیز می‌باشد.

جدول (۴): تخمین نقاط عملکردی سیستم در ارتفاع ۲۰ متر

نوع شیلنگ	بیشترین دبی (لیتر بر دقیقه)	فشار قبل از شیلنگ (بار)	فشار بعد از شیلنگ (بار)
۱ اینچ نواری	۱۰۰	۷/۹۵	۴/۹۵
۳/۴ اینچ هوزریلی	۱۱۰	۹/۲	۴/۸

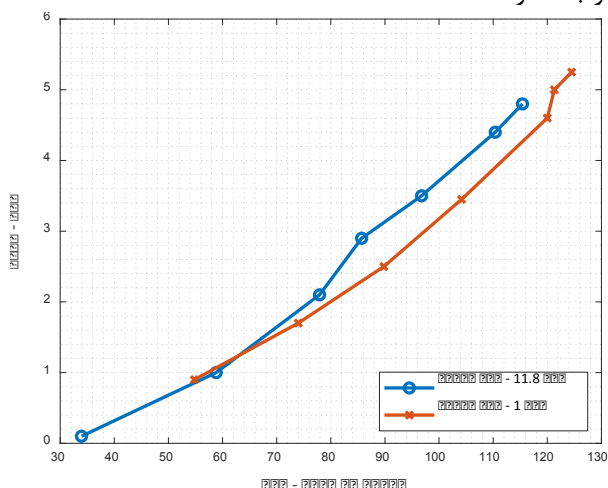
مقدار کمتر دبی عبوری از شیلنگ ۱ in نسبت به شیلنگ ۳/۴ in ناشی از ساختار متفاوت آن‌ها است. زیرا باوجود اینکه شیلنگ ۱ in دارای قطر بزرگ‌تری است؛ اما

بنابراین، با برون‌یابی داده‌های شکل ۱۶ می‌توان تخمینی از فشار قبل از شیلنگ سیستم در ارتفاع ۲۰ متر بدست آورد. نتیجه این برون‌یابی در شکل ۱۷ آمده است.

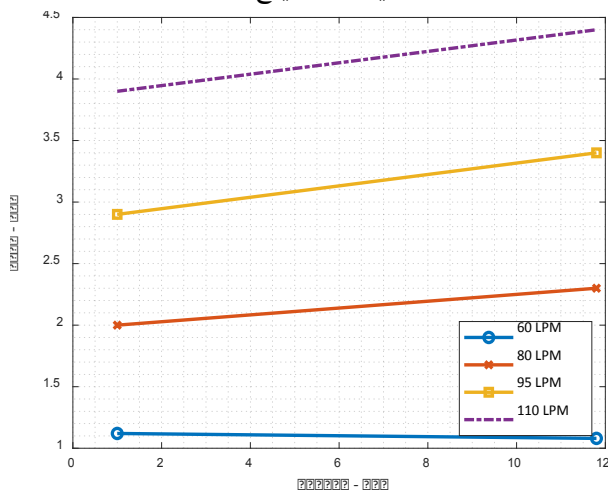
باتوجه به شکل ۱۷ انتظار می‌رود در دبی دلخواه ۱۱۰ لیتر بر دقیقه ای و ارتفاع ۲۰ متری، فشار خروجی پمپ حدود ۹/۱۹ بار باشد.

فشار بعد از شیلنگ با بالابردن نازل و قراردادن فشارسنج در انتهای سامانه به‌صورت نمودار شکل ۱۸ آزمایش شده است.

معادله بهترین منحنی عبوری از نقاط نمودار شکل ۱۸ بصورت رابطه ۱۲ خواهد بود. با استفاده از این معادلات می‌توان فشار و دبی را در ارتفاع ۱۱/۸ و ۱ متری به هم مرتبط نمود.

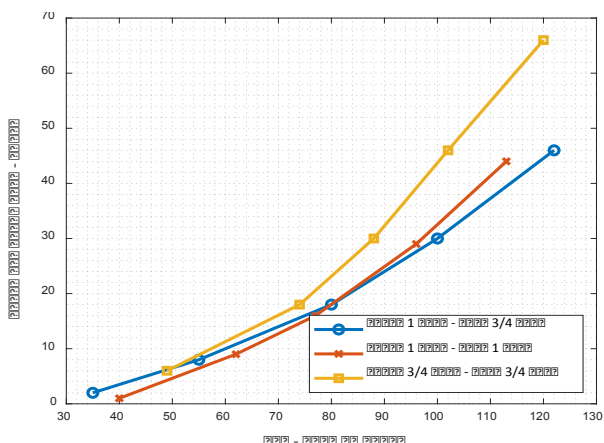


شکل (۱۸): نمودار فشار بعد از شیلنگ بر حسب دبی برای شیلنگ ۳/۴ اینچ



شکل (۱۹): نمودار فشار بعد از شیلنگ بر حسب ارتفاع نازل برای شیلنگ ۳/۴ اینچ





شکل (۲۳): نتایج آزمایش نیروی جت آب

۵-۲-۳- مقایسه شیلنگ‌ها

نتیجه آزمایش‌ها مراحل اول تا سوم در شکل ۲۳ نشان داده شده است. قطر خروجی تمامی نازل‌ها ۹ میلی‌متر باشد. بر این اساس، استفاده از شیلنگ و نازل ۳/۴ اینچ منجر به نیروی افقی قابل توجه تری در مقایسه با شیلنگ و نازل ۱ اینچ شده است.

۴- بحث و نتایج

روند ذکر شده در بخش ۱-۲، مبنای کدنویسی در نرم‌افزار متلب قرار گرفته است و به‌ازای ورودی‌هایی که در ادامه آمده است، خروجی آن به‌دست‌آمده است. در ادامه مقایسه نتایج معادلات تئوری توسعه داده شده با نتایج حاصل از تست عملی مقایسه شده است.

۱-۴- مقایسه نتایج تجربی و تئوری

با استفاده از داده‌های مرحله پنجم آزمایش، نیروی جت آب، به بررسی نتایج تجربی و تئوری پرداخته شده است. اگر مشخصات مرحله پنجم به‌عنوان ورودی شبیه‌ساز در نظر گرفته شود، داده‌های جدول ۶ به دست خواهد آمد. با جای‌گذاری مقادیر جدول ۶ در رابطه ۱ تا رابطه ۴، روابط زیر حاصل شده است:

$$11 = \frac{T_0}{0.883} \left( \cosh \left( \frac{0.883 \times 7.6}{T_0} \right) - 1 \right) \quad (16)$$

$$\rightarrow T_0 = 3.261 \text{ kgf}$$

$$T_{\max} = 3.261 + 0.883 \times 11 = 12.97 \text{ kgf} \quad (17)$$

$$S = \frac{3.261}{0.883} \sinh \left( \frac{0.883 \times 7.6}{3.261} \right) = 14.22 \text{ m} \quad (18)$$



شکل (۲۲): تصویر واقعی انجام آزمایش: بدست آوردن

نیروی نازل و زاویه در شیلنگ ۱ اینچ و نازل ۹ میلی‌متر با نیروسنج و سپس زاویه سنج لیزری

۴-۲-۳- داده‌برداری

داده‌برداری برای مراحل در نظر گرفته شده طبق جدول ۵ برای این آزمایش انجام شده است. در این جدول، اطلاعات مراحل گوناگونی که در طی داده‌برداری‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، ارائه شده است.

جدول (۵): مشخصات مراحل مختلف آزمایش نیروی جت آب

شماره مرحله	شیلنگ - قطر (طول)	قطر نازل (ورودی - خروجی)	ارتفاع [m]
۱	نواری ۱ اینچ - (۸/۷ متر)	۹mm - 3/4 in	سطح زمین
۲		۹mm - 1 in	
۳	هوزریلی 3/4 اینچ - (۲۵ متر)	۹mm - 3/4 in	۱۱
۴	۱ اینچ - (۱۹/۷ متر)		
۵	هوزریلی 3/4 اینچ - (۱۵ متر)		

است و می‌توان از آن برای بررسی حالات مختلف سامانه پاشش سیال استفاده نمود.

**جدول (۸):** مقایسه نتایج تجربی و تئوری در محاسبه

نیروی نازل در مرحله پنجم

خطا (%)	تئوری	نیروی تجربی (نیوتن)	دبی (لیتر بر دقیقه)
۱۲/۴۷	۴۹/۲۱	۴۳/۷۵	۱۰۳/۴۵
۱۷/۷۱	۵۹/۸۱	۵۰/۸۲	۱۰۶
۱۶/۶۲	۶۹/۵۵	۵۹/۶۴	۱۲۱/۶

مطابق جدول ۸، خطای نیروی افقی در حالت تئوری و تجربی، در سه دبی مختلف، بین ۱۲/۴۷٪ و ۱۷/۷۱٪ حاصل شده است.

طبق نتیجه محاسبات در روابط (۲۰) و (۲۱) و نتایج تجربی، جدول ۹ حاصل شده است.

مطابق جدول ۹، خطای محاسبه نیروی افقی و عمودی ناشی از پاشش سیال، برابر و ۱۳/۵۱٪ و ۷/۷۲٪ حاصل شده است

**جدول (۹):** نیروهای وارد بر پرند در دو حالت تئوری و

تجربی

خطا	نیروی افقی (نیوتن)		نیروی عمودی (نیوتن)	
	تئوری	تجربی	تجربی	تئوری
افقی				
عمودی				
٪ ۱۳/۵	٪ ۷/۷۲	۲۷/۶۶	۳۱/۹۸	۱۳/۶۳
				۱۲/۱۲

که نشان می‌دهد، می‌توان در طراحی نیرویی سامانه پاشش سیال در سامانه پهنپادی، از این طریق برآورد نسبتاً خوبی از نیروی وارده بر وسیله پرند به دست آورد.

### ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مطالعه‌ای تجربی بر سامانه انتقال سیال از زمین و پاشش آن در ارتفاع به وسیله پهنپاد پرداخته شد. دو نمونه شیلنگ با قطرهای داخلی ۱ و ۳/۴ اینچ، و نازل با قطر خروجی ۹ میلی‌متر برای استفاده در طراحی سیالاتی این سامانه استفاده شد. نیروهای وارده بر پهنپاد حامل شیلنگ از جانب پمپ آب مشخصی در سطح زمین و پاشش آن در ارتفاع انجام گرفت. در این مقاله، تاثیر متغیرهای مختلف مانند دبی، نازل، قطر شیلنگ، ارتفاع پاشش و طول شیلنگ مورد آزمایش و تحلیل قرار گرفت و به نمودارهای مربوط به

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{0.883 \times 14.22}{3.261} \right) = 75.44^\circ \quad (19)$$

بنابراین، نیروهای افقی و عمودی ناشی از وزن شیلنگ آب که از روابط تئوری به دست آمده‌اند به صورت زیر محاسبه شده‌اند:

$$F_x = 12.97 \cos 75.44 = 3.261 \text{ kgf} \quad (20)$$

$$F_y = 12.97 \sin 75.44 = 12.55 \text{ kgf} \quad (21)$$

**جدول (۶):** ورودی‌های شبیه ساز بر اساس مشخصات

مرحله آزمایش پنجم

متغیر	مقدار
y	۱۱ m
x	۷/۶m
$\mu$ شیلنگ	$\frac{kg}{m} \cdot 0.16$
$\mu$ آب	$\mu = \frac{\pi D^2}{4} \rho$ $= \frac{\pi (0.019)^2}{4} * 997 = 0.283 \frac{kg}{m}$

سپس برای مقایسه، نتایج تجربی مرحله پنجم آزمایش نیروی جت آب محاسبه شده است. طبق کات [۲۳] و مباحث مطرح شده در آزمایش نیروی جت آب، نیروها به صورت جدول ۷ محاسبه شده است.

**جدول (۷):** نتایج تجربی نیروهای وارد بر پرند بر اساس

مرحله پنجم آزمایش نیروی جت آب

دبی (لیتر بر دقیقه)	۱۰۶	۱۰۳/۴۵	۱۲۱/۶
فشار نازل (بار)	۳/۷	۳	۴/۲
نیروی عمودی (نیوتن)	۱۳۳/۸۱	۱۳۱/۰۶	۱۳۴/۸۹
مجموع نیروی افقی (نیوتن)	۸۲/۱۱	۶۶/۷۱	۸۸/۵۸
نیروی نازل (نیوتن)	۵۰/۸۲	۴۳/۷۵	۵۹/۶۴
اختلاف نیروهای افقی و نازل (نیوتن)	۳۱/۲۹	۲۲/۹۶	۲۸/۹۴

با مقایسه بین نتایج تجربی حاصله از جدول ۷ و تئوری بدست آمده از رابطه ۱۳ در جدول ۸ مشاهده می‌شود که نتایج تئوری از دقت نسبتاً خوبی برای استفاده برخوردار

- Persian).<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23223278.140.1.11.2.5.9>
- [7] Verissimo GNM. Water jet modelling and characterization for application in firefighting technologies 2019. URL: <https://hdl.handle.net/10316/98155>
- [8] Huynh T, Lee D-H, Kim Y-B. Study on actuator performance evaluation of aerial water-powered system for firefighting applications. *Applied Sciences*. 2023;13(3):1965. DOI: 10.3390/app13031965
- [9] Lee D-H, Huynh T, Kim Y-B, Soumayya C, editors. Motion control system design for a flying-type firefighting system with water jet actuators. *Actuators*; 2021: MDPI. DOI: 10.3390/act10100275
- [10] Dinh C-T, Huynh T, Kim Y-B. LQI Control System Design with GA Approach for Flying-Type Firefighting Robot Using Waterpower and Weight-Shifting Mechanism. *Applied Sciences*. 2022;12(18):9334. DOI: 10.3390/app12189334
- [11] Ando H, Ambe Y, Ishii A, Konyo M, Tadakuma K, Maruyama S, et al. Aerial hose type robot by water jet for fire fighting. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2018;3(2):1128-35. DOI: 10.1109/LRA.2018.2792701
- [12] Yamauchi Y, Ambe Y, Konyo M, Tadakuma K, Tadokoro S. Passive orientation control of nozzle unit with multiple water jets to expand the net force direction range for aerial hose-type robots. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2021;6(3):5634-41. DOI: 10.1109/LRA.2021.3082019
- [13] Yamauchi Y, Ambe Y, Konyo M, Tadakuma K, Tadokoro S. Realizing large shape deformations of a flying continuum robot with a passive rotating nozzle unit that enlarges jet directions in three-dimensional space. *IEEE Access*. 2022;10:37646-57. DOI: 10.1109/ICUAS54217.2022.9836101
- [14] Hament B, Oh P, editors. A Pressure Washing Hosing-Drone—Mitigating Reaction Forces and Torques. 2022 International conference on unmanned aircraft systems (ICUAS); 2022: IEEE. DOI: 10.1109/ICUAS54217.2022.9836101
- [15] Hament B, Oh P. High Pressure Hosing-Drone Dynamics and Controls. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2023;109(4):90. DOI: 10.1007/s10846-023-01954-8
- [16] Ando H, Ambe Y, Yamaguchi T, Konyo M, Tadakuma K, Maruyama S, et al., editors. Fire Fighting Tactics with Aerial Hose-type Robot “Dragon Firefighter”. 2019 IEEE International Conference on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO); 2019: IEEE. DOI: 10.1109/ARSO46408.2019.8948716
- [17] Lee SM, Ng WH, Liu J, Wong SK, Srigrarom S, Foong S. Flow-Induced Force Modeling and Active Compensation for a Fluid-Tethered Multirotor Aerial Craft during Pressurised Jetting. *Drones*. 2022;6(4):88. DOI: 10.3390/drones6040088
- [18] Viegas C, Chehreh B, Andrade J, Lourenço J. Tethered UAV with combined multi-rotor and water jet propulsion for forest fire fighting. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2022;104(2):21. DOI: 10.1007/s10846-021-01532-w

فشار قبل و بعد از شیلنگ به دقت پرداخته شد. همچنین نیروی نازل و شیلنگ در شرایط مشخص اندازه‌گیری و با روابط تئوری اعتبار سنجی گردید. این آزمایش منجر به توسعه روابط ریاضی با دقت مناسبی شده است که قادر به پیش‌بینی میزان دبی و فشار و نیروی لازم برای مهار شیلنگ و نازل در هنگام کار در ارتفاعات مختلف باشد. این روبر می‌تواند به عنوان یک ابزار مفید در طراحی و بهینه‌سازی سامانه‌های پاشش سیال پهنپادی مورد استفاده قرار گیرند. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در افزایش کارایی و ایمنی پهپادهای آتش‌نشانی و سایر سیستم‌های مشابه که در ارتفاعات بالا وظیفه همزمان حمل شیلنگ و پاشش سیال را دارند، نقش بسزایی داشته باشد.

## ۶- تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از شرکت دانش‌بنیان سروش فناوری یکتای روز (سفیر)، برای کمک به گردآوری و انجام آزمایش‌های فوق به‌وسیله پهپاد آتش‌نشان کمند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## ۷- مراجع

- [1] Momtahn A, Jalali A. Analysis and Construction of Di-Superheater Nozzle of Noori Petrochemical Complex by Computational Fluid Dynamics. The 6th Conference of Domestic Productions and Renovation of Power Plant Equipment and Parts 2020. URL: <https://civilica.com/doc/1157809>. (In Persian)
- [2] Varmazyar M, Hamzeloo SR, Afshar H, Bazargan B. An Algorithm Based on Filtering of Pressure for Simulation of Low Mach Number Flow with Non-Ideal Fluid, Using LBM. *Fluid Mechanics and Aerodynamics*. 2018;7(1):13-2. (In Persian) . <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23223278.1397.7.1.2.6>
- [3] Akhavein Ansari R, Ommi F, Movahednejad E. An Experimental Study of Liquid Jet into a Cross Flow, Based on Schlieren Technique. *Fluid Mechanics and Aerodynamics*. 2017;5(1):17-27. (In Persian) <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23223278.139.5.5.1.2.2>
- [4] Ghasemi H, Mousavian SD. Experimental Investigation of Water Jet Atomization in Air Flow. *Fluid Mechanics and Aerodynamics*. 2015;4(1). (In Persian)
- [5] Yousefi fard M, Rad M, Hajilouy A. Designing Water Jet System for Propulsion of a Buoyant. The 6th Conference of Marine Industry 2004. URL: <https://civilica.com/doc/7108>. (In Persian)
- [6] Hosseini SH, Joudaki J. Design and Analysis of a Waterjet Propulsion System for an Amphibious Vehicle. *Fluid Mechanics and Aerodynamics*. 2023;11(2):51-64. (In

- [19] Al Jaber R, Sikder MS, Hossain RA, Malia KFN, Rahman MA, editors. Unmanned aerial vehicle for cleaning and firefighting purposes. 2021 2nd International conference on robotics, electrical and signal processing techniques (ICREST); 2021: IEEE. DOI: 10.3390/drones6040088
- [20] Zhu J, Li W, Lin D, Zhao G. Study on water jet trajectory model of fire monitor based on simulation and experiment. *Fire Technology*. 2019;55:773-87. DOI: 10.1007/s10694-018-0804-1
- [21] Guan X, Wei Y, Liu K, Shi SQ. Research on solving differential equations of forest fire monitor based on Runge-Kutta. *Alexandria Engineering Journal*. 2020;59(4):2233-8. DOI: 10.1016/j.aej.2020.02.002
- [22] Meriam JL, Kraige LG. *Engineering Mechanics, Binder Ready Version: Statics*; Wiley; 2011. URL: <https://books.google.com/books?id=CGV6swEACAAJ>
- [23] Cote AE, Hall JR, Powell P, Grant CC, Association NFP, Solomon RE. *Fire Protection Handbook: National Fire Protection Association*; 2008. URL: <https://books.google.com/books?id=e2eWA9d2a8IC>