

## آبشستگی در جلو پایه‌ی مربعی در حضور تجمع اجسام شناور چوبی

سید میثم مشعشی<sup>۱</sup>، مهدی اسدی آقبلاغی<sup>۲\*</sup>

### چکیده

اجسام شناور چوبی بزرگ سطح مقطع رودخانه را کاهش، جریان آب را منحرف کرده و سرعت جریان را در اطراف پایه‌های پل افزایش می‌دهند، بنابراین، باعث افزایش سرعت رسوب‌گذاری و عمق گودال آبشستگی در اطراف پایه‌های پل می‌شوند. کنده‌ها و شاخ و برگ‌های انباشته شده در اطراف پایه‌های پل اندازه و شکل متفاوتی دارند که در طبیعت بیشتر به صورت مکعب مستطیل یا شکلهای دیگر در جلو پایه‌های پل تجمع می‌یابند. هدف از این مقاله، تحلیل و بررسی آزمایشگاهی تاثیر تجمع اجسام شناور چوبی در جلوی پایه‌ی مربع شکل بر عمق آبشستگی است. این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد، انجام شده است. اجسام شناور به صورت مکعب مستطیل با طول، عرض و ارتفاعهای مختلف، در جلو پایه‌ی مربعی به عرض ۹ سانتی‌متر مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایشها در شرایط آب زلال و با بده‌های ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ لیتر بر ثانیه انجام شدند. در این آزمایش‌ها بیشترین ژرفای گودال آبشستگی با وجود تجمع اجسام شناور چوبی در جلو پایه‌ی مربعی، با بیشترین ژرفای گودال آبشستگی در شرایط بدون تجمع اجسام شناور (نمونه‌ی شاهد) مقایسه شد. نتایج نشان داد که تجمع اجسام شناور چوبی در جلو پایه باعث افزایش عمق گودال آبشستگی به میزان ۲/۵ تا ۳ برابر نسبت به نمونه‌ی شاهد می‌گردد. همچنین، با استفاده از تحلیل ابعادی معادله‌ی جدیدی برای پیش بینی بیشترین ژرفای آبشستگی با وجود تجمع اجسام شناور چوبی در جلو پایه مربع شکل ارائه گردیده است.

**واژه‌های کلیدی:** پایه‌ی پل، آبشستگی آب زلال، تجمع اجسام شناور چوبی، نمونه‌ی آزمایشگاهی.

<sup>۱</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

<sup>۲</sup> - استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

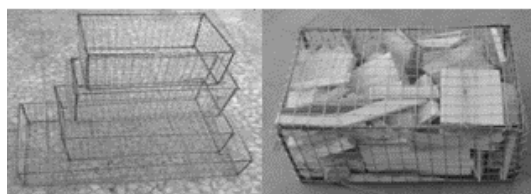
\* - نویسنده مسوول مقاله: mahdi.asadi.a@gmail.com

## مقدمه

ژرفای آبشستگی پایه‌ی پل است؛ همچنین، اثر این اجسام بر طول و عرض گودال آبشستگی بررسی شد. به علاوه، رابطه‌ای برای برآورد بیشترین ژرفای آبشستگی بر اثر تجمع اجسام شناور چوبی مستطیلی در جلو پایه‌ی مربعی با استفاده از تحلیل ابعادی ارائه شده است.

## مواد و روش‌ها

آزمایشهای تجربی در مرکز آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب واقع در دانشگاه شهرکرد انجام شد. این نهر شامل یک مجرای افقی با دیواره‌های شیشه‌ای به طول ۲۰ متر، عرض ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر بود. همه‌ی آزمایش‌ها در شرایط آب زلال با بستر ماسه‌ای به ضخامت ۲۲ سانتی‌متر انجام گرفت. اندازه‌ی مبه وسیله دانه‌های ماسه  $d_{50} = 0.78$  میلی‌متر بود. در همه‌ی آزمایش‌ها شیب نهر پایه دار ۰/۱ درصد بطور ثابت نشان داده شده است. عمق جریان در بالای سطح بستر ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. و با بده‌های ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ لیتر بر ثانیه آزمایش انجام گرفت، در این آزمایش از یک پایه‌ی مربعی به طول ۹ سانتی‌متر استفاده گردید. برای قرار دادن اجسام شناور چوبی در جلو پایه، از قفسه‌های توری شکل با فاصله‌ی عرضی ۱/۲ سانتی‌متر بین شبکه‌های تور، که جریان آب به راحتی از آنها عبور می‌کند استفاده گردید (شکل ۱). قفسه‌های توری شکل طراحی شده، به شکل مستطیل با طول و عرضهای متفاوت و ارتفاع ثابت (با چهار اندازه‌ی متفاوت مطابق جدول ۱، را که حاوی چوبهای خشک می‌باشد در جلو پایه‌ی مربعی برای بررسی تاثیر تجمع آنها بر عمق آبشستگی قرار داده و نتایج آن را با پایه مربعی بدون تجمع اجسام شناور (نمونه‌ی شاهد) در همان شرایط با بده‌های ذکر شده مقایسه کردیم.



شکل ۱- طراحی اجسام شناور چوبی

تجمع اجسام شناور چوبی و کنده‌ی درختان در اطراف پایه‌های پل بیشتر از تجمع در اطراف یک پایه، باعث انسداد جریان آب رود و کاهش سطح مقطع می‌شود. افزایش آبگرفتگی باعث آبشستگی‌های فرونتر و رسوب-گذاری بیشتری در مقایسه با عدم انباشتگی اجسام شناور می‌گردد، که خود باعث کف‌کنی می‌شوند دیهل، ۱۹۹۷، لارسن و توچ ۱۹۵۶. بنابراین، بر پایداری پل تاثیر گذاشته و منجر به خرابی غیرمنتظره‌ی پلها می‌شوند. نمونه‌هایی از این دست، شکستن پل فوقانی رودی می‌سی‌سی‌پی در سال ۱۹۹۳. هاگرتی و همکاران، ۱۹۹۵ و شکستن پل پرکینس در شهر ممفیس، ایالت تنسی، در سال ۱۹۸۰، (ریچاردسون و داویز، ۲۰۰۱) است که نشان دهنده‌ی تاثیرات فاجعه بار تجمع اجسام شناور چوبی در جلو پایه پلها می‌باشند. در تحقیقات تجربی و میدانی، به بررسی تاثیرات تجمع اجسام شناور چوبی بر آبشستگی پایه پلها پرداخته شده است (ملویل و دانگول، ۱۹۹۲)، کاتل و اریکسون، ۱۹۹۸). بردلی و همکاران، ۲۰۰۵؛ زونبرگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ پاگلیارا و کارناسینا، ۲۰۱۰؛ پاگلیارا و کارناسینا، ۲۰۱۱؛ الیوت و همکاران، ۲۰۱۲). تنها برخی از این تحقیقات روشی را برای ارزیابی تاثیرات تجمع اجسام شناور چوبی بر آبشستگی پایه‌ی پل پیشنهاد کرده‌اند. ملویل و دانگول (۱۹۹۲)، با استفاده از تجمع اجسام شناور چوبی استوانه‌ای شکل آزمایشهایی را انجام دادند، که بیشترین تعادل آبشستگی در حضور تجمع اجسام شناور چوبی را می‌توان با استفاده از قطر یک پایه‌ی معادل این چنین تعریف کرد:

$$D_e = \frac{[0.52Td_d + (h - 0.52T)D]}{h} \quad (1)$$

در این رابطه؛  $D_e$  قطر پایه‌ی معادل یا هم ارز است که در معرض تجمع اجسام شناور قرار دارد،  $h$  و  $D$  به ترتیب عمق آب و قطر پایه‌ی پل،  $T$  و  $d_d$  هم به ترتیب ضخامت و عرض اجسام شناور می‌باشند.

هدف از این مقاله، بررسی تاثیر تجمع اجسام شناور چوبی (مکعب مستطیل شکل) در جلو پایه‌ی مربعی، بر بیشترین

مرکز پایه بوده و  $T$  ارتفاع اجسام شناور چوبی قرار گرفته در جلو پایه‌ی مربع شکل است (داده‌ها بر حسب سانتی متر می باشند).

در جدول ۱،  $S_{hp}$  بیانگر شکل اجسام شناور،  $d_d$  عرض اجسام شناور،  $L_d$  طول اجسام شناور چوبی،  $P_d$  فاصله‌ی عرضی ابتدای اجسام شناور قرار داده شده در جلو پایه تا

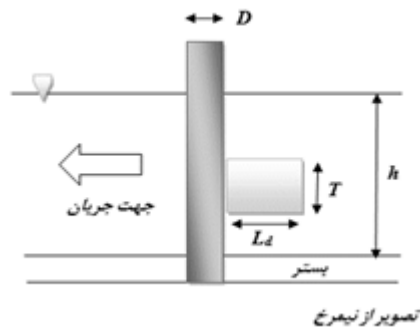
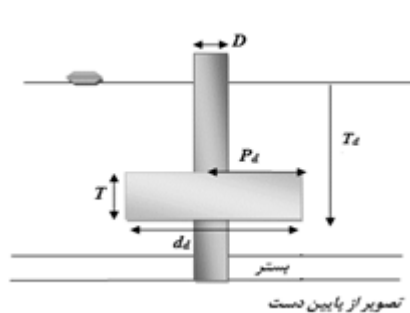
جدول ۱- مشخصات اجسام شناور چوبی به کار رفته در آزمایش.

$S_{hp}$	$L_d$	$d_d$	$T$	$L_d / D$	$d_d / D$	$T / D$	$P_d$
مستطیلی	۱۵	۲۰	۱۰	۱/۶۶۷	۲/۲۲۳	۱/۱	۱۰
مستطیلی	۱۲	۲۵	۱۰	۱/۳۳۴	۲/۷۷۸	۱/۱	۱۲/۵
مستطیلی	۲۰	۳۰	۱۰	۲/۲۲۳	۳/۳۳۴	۱/۱	۱۵
مستطیلی	۲۵	۴۵	۱۰	۲/۷۷۸	۵	۱/۱	۲۲/۵

آب، در جلو پایه مربعی جای دادیم تا تاثیر هریک از حالت‌های فوق را بر عمق گودال آبشستگی مورد آزمایش قرار دهیم. شکل ۲ به صورت نمادین، طرح آزمایشی را در این بررسی به تصویر می‌کشد، که در آن اجسام شناور چوبی مستطیلی شکل در جلو پایه در زیر سطح آب قرار دارند (یکی از سه حالت را در این به تصویر کشیده شده است). در این تحقیق چون عمق آب و ارتفاع اجسام شناور چوبی برای تمام آزمایشها بطور ثابت در نظر گرفته شده بودند،  $T_d$  برای حالت‌های؛ بالای سطح آب ۵ سانتی‌متر، هم سطح آب ۱۰ سانتی‌متر و زیر سطح آب ۱۵ سانتی‌متر بود.

### ویژگی رسوبها و اجسام شناور چوبی بزرگ (LWD):

بر اساس تحقیقات انجام شده به وسیله محققینی چون ولوود و فنویک (۱۹۹۰)، ملویل و دانگول (۱۹۹۲)، دیهل (۱۹۹۷) و زونبرگ و همکاران (۲۰۰۶)، تجمع اجسام شناور چوبی در جلو پایه در طبیعت بیشتر به شکلهای مستطیلی، مخروطی و یا مثلثی می‌باشند که می‌توانند کاملا در بالادست اطراف پایه پل انباشته شده، و در نهایت به سمت پایین پایه (زیر سطح آب در جلو پایه) پل نفوذ کنند. در این بررسی اجسام شناور چوبی شبیه سازی شده را در سه حالت: هم سطح آب، زیر سطح آب و بالای سطح



شکل ۲- نحوه‌ی قرارگیری اجسام شناور چوبی در آزمایش.

پایین‌دست برای تنظیم و حفاظت رسوبها در مقابل قدرت جریان از دو سطح شیب‌دار چوبی با مقادیر قابل توجهی شن برای افزایش آرامش جریان بر روی بستر استفاده گردید.

ضخامت مواد بستر نهر پایه دار در آزمایشها با توجه به افزایش کف‌کنی در جلو پایه‌ی مربعی نسبت به پایه‌های دیگر ۲۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. محدوده‌ای معادل ۳ متر از نهر پایه دار آزمایشگاهی که، با رسوبهای غیر چسبنده با مشخصات جدول ۲ پر شده بود در بالادست و

جدول ۲- مشخصات مواد بستر مورد استفاده در آزمایش .

انحراف معیار	ضریب یکنواختی	زاویه ایستایی	تخلخل	وزن مخصوص	چگالی رسوب	قطر مبه وسیله
۱/۱	۱/۲	۳۰/۵	۵۱/۸۵	۲/۷	۱/۴۴	۰/۷۸

### اجرای آزمایش

برای هریک از آزمایشها، بستر در نهر پایه دار آزمایشگاهی در اطراف پایه پل با دقت تراز گردید و اجسام شناور چوبی در فواصل مختلف از بستر (هم سطح آب، زیر سطح آب و بالای سطح آب) در داخل نهر پایه دار در جلو پایه‌ی مربعی قرا داده شد تا  $t_d$  های مختلف به دست آیند. پس از آن اجسام شناور چوبی در جلو پایه‌ی مربعی ثابت شدند، نهر در یک بدهی کم کاملاً از آب انباشته شد ( $Q \approx 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ ) تا زمانی که سطح آب در نهر پایه-دار به ۲۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح بستر برسد (برای جلوگیری از آبشستگی اولیه در جلو پایه). سپس، با افزایش بده،  $Q$ ، مورد نظر برای آزمایش تنظیم شد، سطح آب به نحوی که در ۲۰ سانتی‌متری عمق جریان ثابت بماند (با استفاده از دریچه تنظیم عمق در انتهای نهر پایه دار). در هنگام شروع آزمایش، آبشستگی ناچیزی صورت می‌گیرد که تاثیری بر سیر تکاملی حفره‌ی آبشستگی نخواهد داشت. هنگامی که سطح آب برابر با سطح  $h$  (عمق) آزمایشها باشد، ارزیابیهای زمانی آغاز می‌گردد. از یک نقطه سنج (کولیس) با دقت ۰/۱ میلی‌متر برای اندازه‌گیری بیشترین ژرفای آبشستگی استفاده گردید. آبشستگی در دقایق ۵، ۱۰، ۳۰، ۶۰، ... و ۴۲۰ تخمین گردید، و آزمایشها بطور کلی به مدت ۴۲۰ دقیقه انجام شدند.

### بحث و نتیجه‌گیری

#### تحلیل ابعادی

بیشترین عمق آبشستگی در محاسبه‌های اطراف پایه‌های پل،  $Z$ ، تابعی از شکل هندسی پل،  $f_{bg}$ ، جریان آب،  $f_f$ ، رسوبها،  $f_{st}$ ، و زمان،  $f_t$ ، در نظر گرفته شده است:

$$Z = f \left[ \begin{matrix} f_{bg}(D, S_{hp}, Alp, b), f_f(q, h, v, \rho, g), \\ f_{st}(D_{50}, \sigma, \rho'_s), f_t(t) \end{matrix} \right] \quad (۲)$$

در این رابطه:  $S_{hp}$  شکل پایه‌ی پل،  $Alp$  عامل هم ترازوی یا یکنواختی رسوبها (در این نادیده در نظر گرفته شد)،  $t$ ، زمان،  $b$  عرض نهر،  $q$  بدهی در واحد عرض،  $b$  عرض نهر،  $v$ ، گرانروی جنبشی،  $\rho$ ، چگالی آب،  $g$ ، شتاب گرانش،  $d_{50}$ ، مبه وسیله اندازه رسوبها،  $\sigma$ ، زاویه‌ی قرارگیری رسوبها، و  $\rho'_s = (\rho_s - \rho)/\rho$ ، چگالی نسبی رسوبها می‌باشند، که  $\rho_s$ ، چگالی رسوبهاست. تجمع اجسام شناور چوبی در جلو پایه تاثیر جدیدی در محاسبه‌های عمق آبشستگی می‌گذارد، و از این رو فراسنجهای هندسی  $f_d$ ، مشخصات اجسام شناور، را هم باید بدان اضافه کرد. با توجه به رابطه‌ی (۳) مفروض است که:

$$Z_{Debris} = f \left[ \begin{matrix} f_{bg}(D, S_{hp}, Alp, b), \\ f_f(q, h, v, \rho, g), f_{st}(d_{50}, \sigma, \rho'_s), f_t(t), \\ f_d(d_d, t_d, l_d, p_d, s_{hd}, n_d) \end{matrix} \right] \quad (۳)$$

در این رابطه  $n_d$  تخلخل یا زبری اجسام شناور چوبی بوده و تاثیر اندکی بر سیر تکاملی آبشستگی دارد.  $S_{hd}$  بیانگر شکل اجسام شناور چوبی و  $f$  یک نماد عملکردی است. همچنین، تاثیرهای جریان و گرانروی رسوبها نیز نادیده گرفته شده اند، که حاصل آن عدد رینولد بزرگی بوده ( $R_g = 4Uh/v > 2 \times 10^5$ ) و اندازه‌ی مبه وسیله دانه‌ها  $d_{50} \geq 0.78 \text{ mm}$  می‌باشد که به عنوان قطر آستانه‌ی تشکیل شکل بستر در نظر گرفته می‌شود. مواد مورد استفاده در بستر در این آزمایش تقریباً یک دست بوده ( $\sigma < 1.3$ )، و هیچ گونه تاثیر تقویت کننده‌ای ظاهر نشد. با استفاده از قضیه  $\Pi$  و با توجه به آبشستگی پایه‌ی مجزا  $Z$  به عنوان آبشستگی مرجع، رابطه‌ی ۳ به صورت زیر در خواهد آمد:

$$K_d = \frac{Z_{Debris}}{h} = \Pi \left( \frac{D}{d_{50}}, \frac{h}{D}, \frac{b}{D}, \frac{u}{u_c}, \Delta A\%, \frac{d_d}{b}, \frac{l_d}{D}, \frac{p_d}{l_d} \right) \quad (۴)$$

در این رابطه  $\Delta A\% = [(d_d - D) \cdot t_d / (b \cdot h)] \cdot 100$  ضریب انسداد ناشی از تجمع اجسام شناور مکعب مستطیل،  $U/U_c$ ، نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی،

عرض، طول و ارتفاع به ترتیب (۴۵-۲۵-۱۰) در جلو پایه-ی مربعی با بدهی ۴۰ لیتر بر ثانیه در حالت اجسام شناور چوبی زیر سطح آب به صورت خشک نهایی در زمان ۴۲۰ دقیقه، و شکل ۴ ب نیز اجسام شناور چوبی را با عرض، طول و ارتفاع به ترتیب (۲۵-۱۲-۱۰) با بدهی ۳۰ لیتر بر ثانیه در حالت زیر سطح آب در حین آزمایش و بیشترین ژرفای آبشستگی در حالت خشک نشان می‌دهد.

شکل‌های ۵ و ۶، به مقایسه‌ی بیشترین ژرفای گودال آبشستگی به صورت طولی و عرضی برای اجسام شناور چوبی با عرض، طول و ارتفاع (۴۵-۲۵-۱۰) و (۲۵-۱۲-۱۰) در سه حالت؛ هم سطح آب، زیر سطح آب، و بالای سطح آب که در جلو پایه‌ی مربعی قرار گرفته‌اند نسبت به نمونه‌ی شاهد (بدون قرارگیری اجسام شناور)، در بدهی ۳۰ و ۴۰ لیتر بر ثانیه می‌پردازد. در این شکل‌ها،  $Z$  گودال است که با نقطه سنج (کولیس) اندازه‌گیری شده است،  $X$  فاصله‌ی طولی گودال آبشستگی (فرورفتگی و بالا آمدگی) در جلو و پشت پایه، و  $Y$  فاصله‌ی عرضی گودال آبشستگی در مقطع جلو پایه‌ی مربعی (بیشترین ژرفای آبشستگی در جلو پایه رخ داده است) می‌باشد. در نمودارهای بالا، بیشترین آبشستگی به ازای  $\frac{L_d}{D} = 2.778$  در حالت اجسام شناور چوبی زیر سطح آب در بدهی ۴۰ لیتر بر ثانیه، ۲۰/۱۷ سانتی‌متر مشاهده شد، این در حالی است که حفره و عمق آبشستگی برای اجسام شناور با طول و عرض کمتر و بیشتر به ترتیب کاهش و افزایش می‌یافتند. طول گودال آبشستگی با افزایش درازای اجسام شناور به سمت پایین کشیده می‌شد، یعنی هر چه طول اجسام شناور بیشتر بوده، علاوه بر عمق آبشستگی، کف‌کنی در زیر اجسام شناور نیز فزون‌تر، و در نتیجه حجم گودال آبشستگی افزایش می‌یافت. از طرفی نیز، افزایش عرضی اجسام شناور چوبی در جلو پایه باعث افزایش بیشترین ژرفای آبشستگی در جلو پایه گردیده، و رابطه‌ی مستقیمی با عمق آبشستگی داشت. لازم به ذکر است که بیشترین عمق آبشستگی ابتدا از کناره‌ی پایه مربعی بر اثر برخورد جریان با پایه شروع گردیده و بعد به مرکز پایه رسیده، و بعد از ۴۲۰ دقیقه، بیشترین ژرفای آبشستگی در مرکز پایه مشاهده می‌شود. برای تمام بازه‌های مورد آزمایش رفتار مشابهی آشکار گردید.

و  $\Pi$  یک نماد عملکردی است. شکل مکعب مستطیل، نفوذپذیر و زبر اجسام شناور چوبی در جلو پایه مورد آزمایش قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در آزمون شاهد (نمونه‌ی شاهد برای بده‌های ذکر شده) آزمون‌ی است که بدون تجمع اجسام شناور در همان شرایط آزمایشی، یعنی شدت جریان، زبری سطح، عمق آب، و آبگرفتگی اطراف پایه‌ی پل انجام می‌شود. شایان ذکر است که هنگام آزمون نمونه‌ی شاهد  $\Delta A\% = 0$  و  $t_a = 0$  می‌باشد (چون اجسام شناور چوبی در جلو پایه قرار ندارد).

## نتایج و بحث

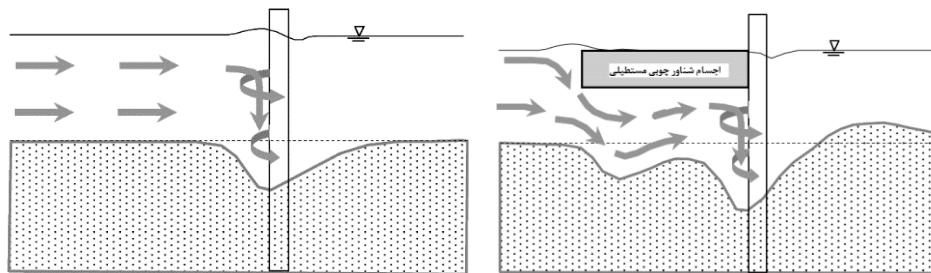
### مشاهده‌های حاصل از آزمایش:

فرآیند آبشستگی مشاهده شده در این آزمایش برای پایه‌ی مربعی در حالت بدون تجمع اجسام شناور چوبی (نمونه‌ی شاهد)، طوری شکل گرفت که بر اثر برخورد جریان، فقط در جلو پایه‌ی گودال آبشستگی اتفاق افتاد؛ و مواد بستر در بالادست هیچ‌گونه حرکتی نداشتند. با قرار دادن اجسام شناور چوبی متفاوت در جلو پایه‌ی مربعی در حالت‌های ذکر شده، عمق گودال آبشستگی تغییر می‌کرد، به گونه‌ای که با برخورد جریان به اجسام شناور نیروی روبه پایین ایجاد گردید که باعث به حرکت در آوردن مواد بستر در زیر اجسام شناور و افزایش گردابه‌های نعل اسبی و خیزان در جلو و پشت پایه شد و یک چاله یا گودال، علاوه بر گودال آبشستگی، در جلو پایه ایجاد می‌کرد که باعث افزایش طول و عرض گودال در جلو پایه می‌گردید؛ شکل ۳ این مشاهده را به صورت نمادین به تصویر می‌کشد. همچنین، طول و عرض اجسام شناور و حالت‌های قرارگیری آن در جلو پایه (بالای سطح، هم سطح و زیر سطح آب) تاثیر بخصوصی بر افزایش عمق گودال آبشستگی داشت، بطوری که هرچه عرض و طول اجسام شناور قرار گرفته در جلو پایه پل بیشتر بود، عمق کف‌کنی در زیر اجسام شناور بیشتر می‌شد در نتیجه، عمق گودال آبشستگی نیز افزایش می‌یافت. برای اجسام شناور چوبی در حالت زیر سطح آب در جلو پایه نسبت به حالت‌های دیگر (بالای سطح و هم سطح آب) بیشترین عمق آبشستگی مشاهده گردید. برای تمام بازه‌های آزمایش شده رفتار مشابهی مشاهده شد. شکل ۴ الف، تجمع اجسام شناور چوبی را با

شکل ۷ الف، ب، ج، د، ذ و ح، بیشترین عمق آبشستگی نمونه‌ی شاهد را با اجسام شناور چوبی در سه حالت ذکر شده (با مشخصات زیر) با عرض، طول و ارتفاع (۲۰-۱۵-۱۰)، (۱۰-۱۲-۲۵)، (۱۰-۳۰-۲۰) و (۴۵-۲۵-۱۰) بسا بدهی‌های ۱۵ و ۴۰ لیتر بر ثانیه مقایسه کرده و نشان می‌دهد که، در حالتی که اجسام شناور چوبی در زیر سطح آب و در جلو پایه مربعی قرار می‌گیرند، مواد بستر با شدت بیشتری از اطراف پایه حرکت می‌کند (نسبت به حالت‌های بالای سطح و هم سطح آب) و به وسیله جریان به سمت پایین دست حمل می‌شوند؛ نتیجه، عمق آبشستگی در نسبت به حالت‌های دیگر افزایش می‌یابد، در بعضی از حالت‌ها، عمق آبشستگی در حدود ۲/۵ برابر نمونه‌ی شاهد، افزایش می‌یابد.

شکل ۸ بیشینه‌ی عمق آبشستگی را در برابر درصد انسداد اجسام شناور قرار گرفته در جلو پایه‌ی مربعی در سه حالت ذکر شده (بالای سطح، هم سطح و زیر سطح

آب) در مقابل بیشترین ژرفای آبشستگی در بدهی‌های ۳۰ و ۴۰ لیتر بر ثانیه نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که عرض نسبی اجسام شناور چوبی، و نحوه‌ی قرارگیری آنها در جلو پایه (بالای سطح، هم سطح و زیر سطح آب)، تاثیر چشمگیری بر بیشترین ژرفای آبشستگی دارد. بطور کلی، انباشت کوچکی از اجسام شناور چوبی در جلو پایه پل نیز باعث افزایش عمق آبشستگی در جلو پایه و افزایش طول و عرض گودال نسبت به نمونه‌ی شاهد می‌گردد. در مقابل، با افزایش طول و عرض اجسام شناور، ریخت حفره‌ی آبشستگی بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بیشترین عمق آبشستگی مربوط به حالتی است که اجسام شناور چوبی در زیر سطح آب در جلو پایه با بدهی ۴۰ لیتر بر ثانیه و ضریب انسداد،  $\Delta A = 45\%$  می‌باشد، که در این حالت  $d_d / b = 0.75$ .



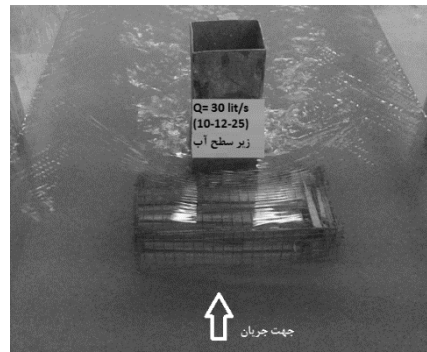
شکل ۳- نمایش گودال آبشستگی در دو حالت با و بدون تجمع اجسام شناور.



شکل ۴ الف- نمایی از آبشستگی و تپه‌های ماسه‌ای در زمان ۴۲۰ دقیقه با

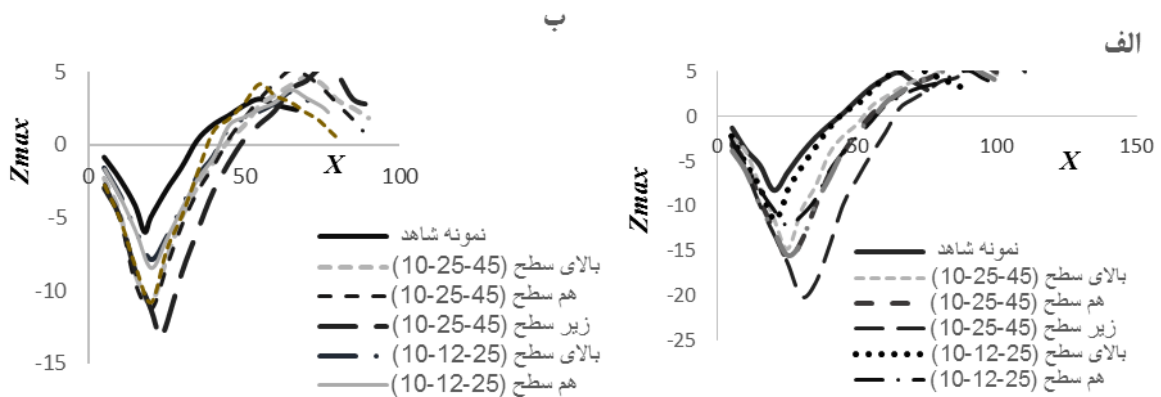
$$\frac{d_d}{b} = 0.75, l_d = 2.778, \frac{p_d}{l_d} = 0.9, \frac{h}{D} = 2.23, \frac{U}{U_c} = 0.38, \Delta A\% = 45$$



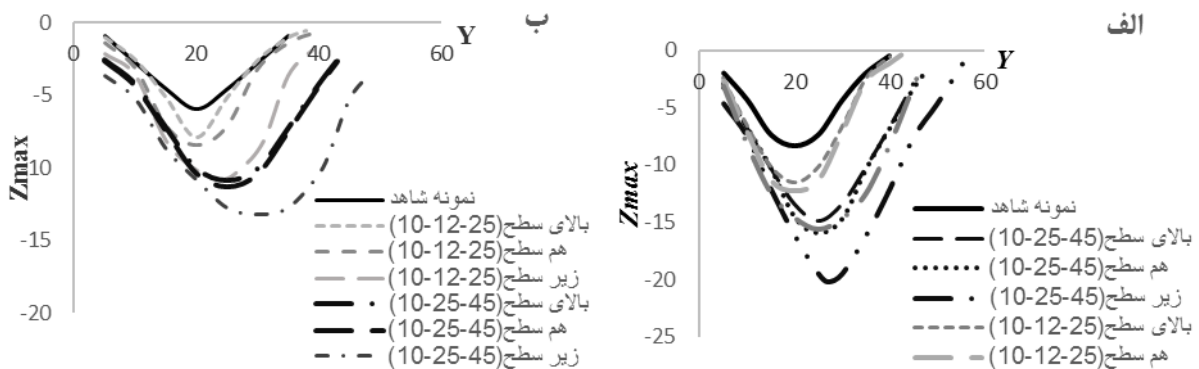


$$\frac{d_d}{b} = 0.416, l_d = 1.334, \frac{p_d}{l_d} = 0.9, \frac{h}{D} = 2.23, \frac{U}{U_c} = 0.3125, \Delta A\% = 45$$

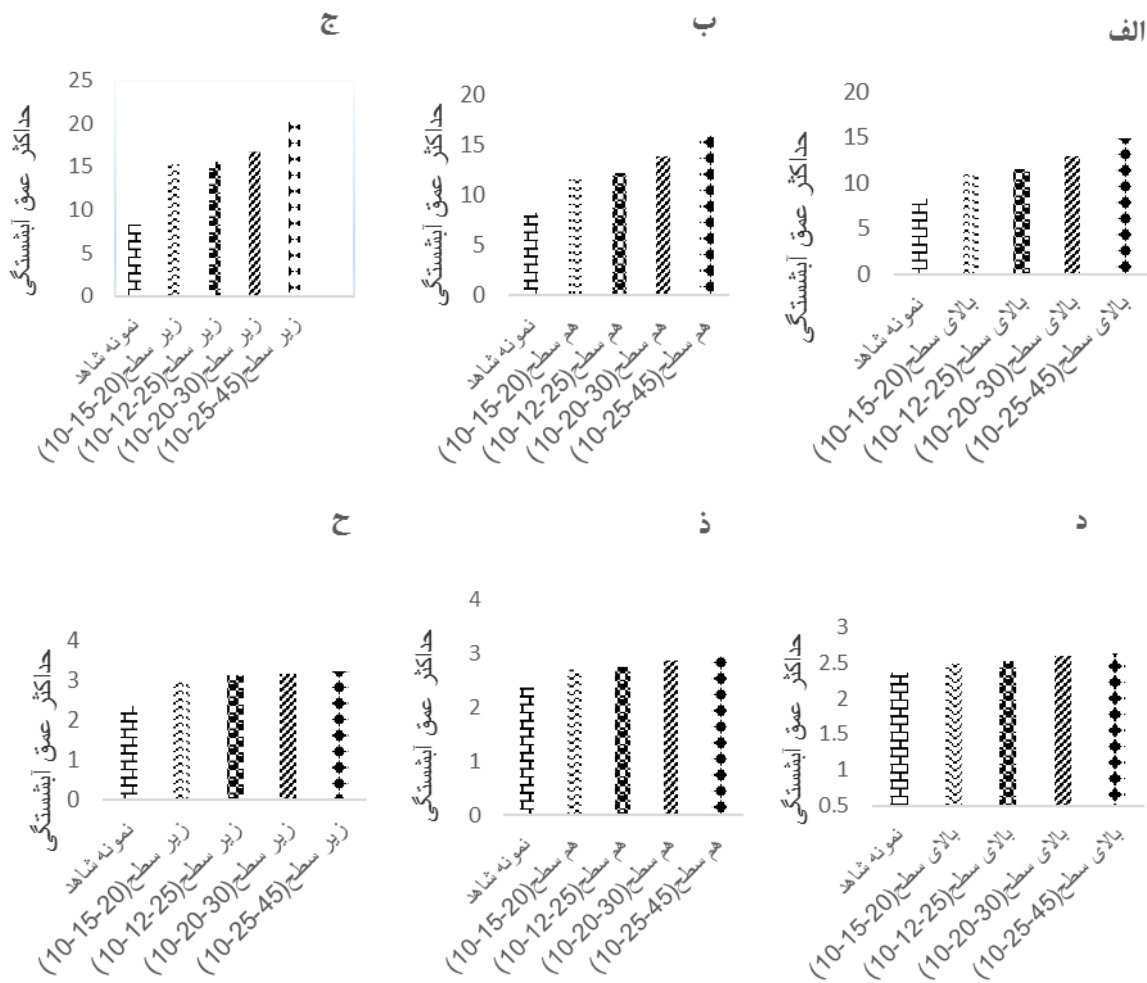
شکل ۴ ب- نمایی از قرارگیری اجسام شناور در حین آزمایش و موقعیت نهایی خشک در زمان ۴۲۰ دقیقه؛



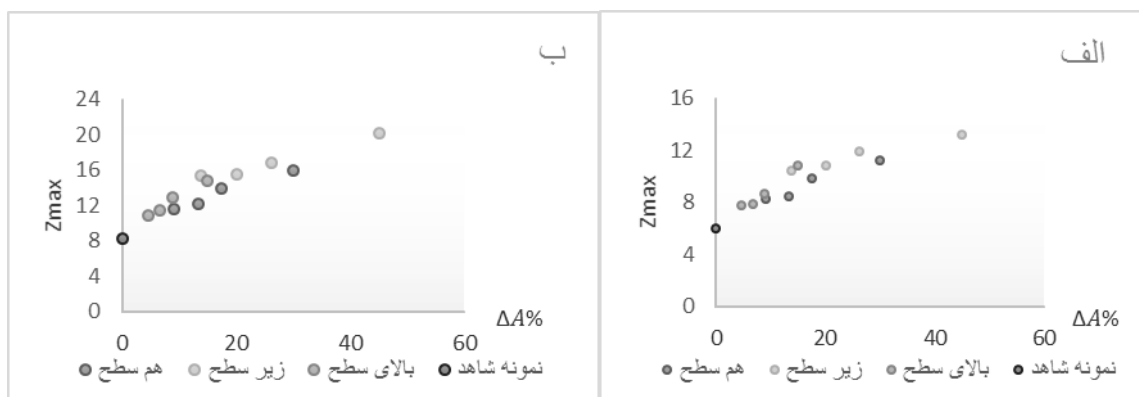
شکل ۵- نیمرخ طولی گودال آبستگي در زمان ۴۲۰ دقیقه برای الف-  $Q = 40 \text{ lit/s}$  و ب-  $Q = 30 \text{ lit/s}$ .



شکل ۶- نیمرخ عرضی گودال آبستگي در زمان ۴۲۰ دقیقه الف-  $Q = 40 \text{ lit/s}$  و ب-  $Q = 30 \text{ lit/s}$ .



شکل ۷- مقایسه بیشترین ژرفای آبشستگی در نحوه قرارگیری اجسام شناور با نمونه‌ی شاهد؛ الف- بالای سطح آب با  $Q = 40 \text{ lit/s}$  ب- هم سطح آب با  $Q = 40 \text{ lit/s}$  ج- زیر سطح آب با  $Q = 40 \text{ lit/s}$  د- بالای سطح آب با  $Q = 15 \text{ lit/s}$  ه- هم سطح آب با  $Q = 15 \text{ lit/s}$  و- زیر سطح آب با  $Q = 15 \text{ lit/s}$  ز- هم سطح آب با  $Q = 15 \text{ lit/s}$



شکل ۸- درصد انسداد اجسام شناور قرار داده شده در جلو پایه در مقابل بیشترین ژرفای آبشستگی برای الف-  $Q=30$  lit/s و ب-  $Q=40$  lit/s



حالت بالای سطح، هم سطح و زیر سطح آب) انجام گردیدند (۱۲ آزمایش). نتایج نشان داند که اجسام شناور چوبی زیر تأثیری بر شکل ظاهری گودال آبشستگی، و بیشترین عمق آن ندارند.

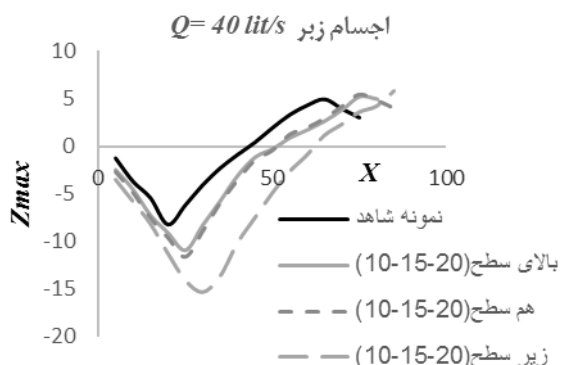
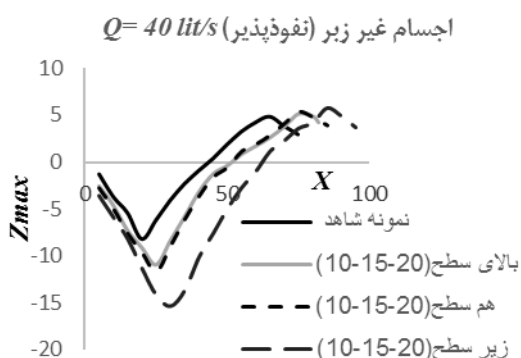


شکل ۹- اجسام شناور چوبی زیر در جلو پایه مربعی در حالت هم سطح آب

(۱۰) و بدهی ۴۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد. شکل به وضوح نشان می‌دهد که اجسام شناور زیر، اثر چندانی بر روی نیمرخ طولی و بیشترین ژرفای آبشستگی ندارد.

**تأثیر زبری یا تخلخل بر عمق آبشستگی**  
برای یافتن اثر زبری اجسام شناور بر عمق آبشستگی، اجسام شناور به صورت زیر ساخته شده (شکل ۹) و آزمایشها با بده‌های مختلف، و در مکان‌های گوناگون (سه

شکل ۱۰ نیمرخ طولی گودال آبشستگی را برای دو حالت اجسام شناور چوبی زبر و غیر زبر مقایسه می‌کند. این شکل برای اجسام شناور با عرض، طول و ارتفاع (۲۰-۱۵-



شکل ۱۰- مقایسه نیمرخ طولی گودال آبشستگی بین الف- اجسام شناور زبر و ب- اجسام شناور غیر زبر.

با  $\ln$  گرفتن از طرفین رابطه‌ی ۵ داریم:

$$\ln\left(\frac{Z_{debris}}{h}\right) = \ln \alpha + a_1 \ln\left(\frac{U}{U_c}\right) + a_2 \ln(\Delta A) + a_3 \ln\left(\frac{d_d}{b}\right) + a_4 \ln\left(\frac{L_d}{D}\right) \quad (6)$$

سپس با استفاده از نرم افزار *spss* و وایازی خطی مقادیر  $a_1$  تا  $a_4$  و  $\ln \alpha$  به دست آمدند. که مقدار  $R^2$  (با توجه به رابطه‌ی ۷) برابر با ۰/۹۸۴۴۵۸ می‌باشد. که این مقدار بیانگر همبستگی خوبی بین داده‌ها برقرار بوده است.

$$R = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

در رابطه ۷؛  $x$  متغیر مستقل، و  $y$  متغیر وابسته می‌باشد. معادله‌ی بیشترین ژرفای آبشستگی بر اثر تجمع اجسام

**پیش بینی عمق آبشستگی برای پایه‌ی مربعی شکل در حضور اجسام شناور**

برای یافتن رابطه‌ی مناسب برای پیش بینی عمق آبشستگی در جلوی پایه‌ی مربعی از نتایج تحلیل ابعادی استفاده کنیم. بدین ترتیب، رابطه‌ی عمق آبشستگی را به صورت نمایی به صورت زیر بیان می‌نماییم:

$$\frac{Z_{debris}}{h} = \alpha \left(\frac{U}{U_c}\right)^{a_1} (\Delta A)^{a_2} \left(\frac{d_d}{b}\right)^{a_3} \left(\frac{L_d}{D}\right)^{a_4} \quad (5)$$

$$MSE = \frac{\sum(Z_{dP} - Z_{dm})^2}{2*(60-1)} \quad (9)$$

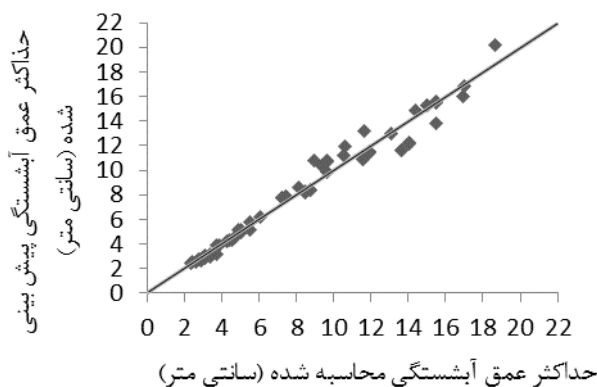
در رابطه‌ی فوق؛  $MSE$  میانگین مجموع مربعات خطا،  $Z_{dP}$  بیشترین ژرفای آبشستگی پیش‌بینی شده، و  $Z_{dm}$  بیشترین ژرفای آبشستگی محاسبه شده حاصل از آزمایش می‌باشند.

برای داده‌های آبشستگی مشاهده گردیده و محاسبه شده مقدار  $MSE = 0.322$  می‌باشد، که نشان دهنده‌ی دقت قابل قبول برای معادله ارائه شده است.

شناور در جلو پایه‌ی مربعی استخراج و به شکل زیر (رابطه‌ی ۸) ارائه می‌گردد:

$$\frac{Z_{debris}}{h} = 1.205430 \left(\frac{U}{U_c}\right)^{2.42627} (\Delta A)^{0.2396} \left(\frac{d_d}{b}\right)^{-0.15450} \left(\frac{L_d}{D}\right)^{0.1148} \quad (8)$$

شکل ۱۱ عمق آبشستگی محاسبه شده و مشاهده گردیده را نشان می‌دهد، در این شکل، پراکندگی داده‌ها در حدی قابل قبول است. میانگین مجموع مربعات خطا از رابطه‌ی زیر حساب می‌شود:



شکل ۱۱- مقایسه بیشترین ژرفای آبشستگی محاسبه شده و پیش بینی شده حاصل از آزمایش.

### نتیجه گیری

در این پژوهش، تأثیر اجسام شناور بر ژرفای آبشستگی یک پایه‌ی مربع شکل بررسی شد. نتایج نشان دادند که تجمع اجسام شناور چوبی در جلو پایه باعث افزایش عمق آبشستگی نسبت به نمونه‌ی شاهد (بدون تجمع اجسام شناور چوبی) می‌شود (حدوداً ۲/۵ تا ۳ برابر). برخورد جریان با اجسام شناور چوبی انباشته شده در جلو پایه، علاوه بر افزایش ژرفای آبشستگی باعث کف‌کنی در زیر اجسام، و به وجود آوردن چاله در جلو پایه می‌شود. اگر اجسام شناور در زیر سطح آب، در جلو پایه قرار گیرند بیشترین آبشستگی و کف‌کنی در زیر اجسام رخ می‌دهد. زبری یا متخلخل بودن اجسام شناور تأثیری بر عمق، و شکل ظاهری گودال آبشستگی ندارد، اما به عنوان یک بار اضافی پویایی بر پایه‌ی پل محسوب می‌شود.

### Refrence

1. Bradley, JB., DL, Richards. and CD. Bahner 2005. Debris control structures –evaluation and countermeasures. Report No. FHWA-IF-04-016, Hydraulic Engineering No. 9. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
2. Diehl, T. H.1997., Potential drift accumulation at bridges. Report No. FHWA-RD-97-028. Hydraulic Engineering No.9, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
3. Elliot RC, D. C., Froehlich and R. C. MacArthur., 2012., Calculating the potential effects of large woody debris

8. Pagliara, S, and I. Carnacina., 2010. Temporal scour evolution at bridge piers: Effect of wood debris roughness and porosity. *Hydrau Res*, 48: 3–13.
9. Pagliara, S, and I. Carnacina, 2011. Influence of wood debris accumulation on bridge pier scour. *Hydraul Eng*. 10.1061/ (ASCE) HY.1943-7900.0000289.
10. Richardson, E.V, and S.R. Davis, 2001. Evaluating scour at bridges. Report No. FHWA–NHI–01–001, Hydraulic Engineering No. 18 (4th edition), Federal Highway Administration, Washington, D.C.
11. Wellwood, N. and J. Fenwick, 1990 . A flood loading methodology for bridges. p. 315–341. Proceedings, 15th Australian Road Research Board conference, August 1990, Australian Road Research Board.
12. Zevenbergen, L.W, and P. F. Lagasse, and P.E, Clopper, Spitz WJ. 2006. Effect of debris on bridge pier scour. International Conference on Scour Erosion, Amsterdam, The Netherlands.
4. Hagerty, D.J., A.C., Parola, and T.E. Fenske, 1995. Impacts of 1993 upper Mississippi River basin floods on highway systems. Report No. 1483, Transportation Research. Record, Transportation Research Board, Washington, D.C.
5. Kattell, J., and M. Eriksson, 1998. Bridge scour evaluation: Screening, analysis, and countermeasures. General Technical Report 9877 1207–SDTDC. U.S. Department of Agriculture, Forest San Dimas, CA.
6. Laursen, E.M., and A. Toch, 1956 . Scour around bridge piers and abutments. Bulletin No. 4, Iowa Highways Research Board, Ames, Iowa.
7. Melville, B.W., and D.M., Dongol, 1992. Bridge pier scour with debris accumulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 118, No. 9, pp. 1306–1310.