علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤١، شماره‌ی۱، بهار ۹۷، ص. ۱۳۱-۱۱۵

فرآیند شکست هیدرولیکی خاکریزهای غیر چسبنده‌ی حفاظتی ساحلی در اثر جریان روگذر

ابراهیم صادقی هاردنگی[۱] و جواد احدیان[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب،دانشگاه شهید چمران اهواز .
۲*- نویسنده مسئول، دانشیار گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز ja_ahadiyan@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۱

چکیده

شکست خاک‌ریزهایی که برای حفاظت از سیل در اطراف شبکه‌های آبیاری و زهکشی احداث می‌شوند، بر اثر عبور جریان سیل از روی آن‌ها می‌تواند خسارات مالی، جانی و زیست‌محیطی را به همراه داشته باشد. بنابراین ضروری است فرآیند شکست و عوامل مؤثر بر آن مطالعه شود. از این رو در این تحقیق از چهار نمونه خاک غیرچسبنده با اندازه متوسط ۰/٤٤، ۰/۷، ۱/۷ و ۲/٤ میلی‌متر برای احداث خاکریز استفاده گردید. مشخصات هندسی خاک‌ریز شامل طول کف ۱/۳۵ متر، ارتفاع ۰/۲۵ متر، طول تاج ۰/۱ متر، شیب بدنه ۱:۲/۵ و عرض ۰/۳۵ متر است. دبی ورودی به فلوم فرعی ثابت و برابر با ۱/٤ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد در نمونه‌های خاک با اندازه‌ی متوسط ۰/٤٤ و ۰/۷ میلی‌متر تغییرات عرضی شکاف ایجاد شده به‌صورت پلکانی بوده و در نمونه‌های با اندازه متوسط ۱/۷ و ۲/٤ میلی‌متر از ابتدا فرسایش عرضی شدیدتر است. از طرفی میزان دبی عبوری از شکاف به دلیل تغییرات غیر یکنواخت تراز سطح آب پشت خاک‌ریز به‌صورت نوسانی تغییر نموده و زمانی که دبی عبوری از شکاف به حداکثر مقدار خود برسد، زمان شکست تعریف می‌گردد. نتایج نشان داد با افزایش اندازه متوسط ذرات از ۰/٤٤ به ۱/۷ میلی‌متر مقدار حداکثر دبی خروجی ۱۲ درصد افزایش می‌یابد و در نمونه‌های ۳ و ٤ علی‌رغم افزایش اندازه متوسط ذرات از ۱/۷ به ۲/٤ میلی‌متر، مقدار حداکثر دبی شکاف تقریباً برابر است. به‌طور کلی با افزایش اندازه متوسط ذرات و زاویه اصطکاک داخلی نمونه‌ها، زمان شکست کاهش می‌یابد و دبی حداکثر عبوری از شکاف تغییر چندانی نمی‌کند. علاوه بر این پارامترهای بی‌بعد حاکم بر تحقیق استخراج گردید و به تفصیل مورد بحث قرار گرفت.

کلید واژه‌ها: خاک‌ریز همگن، دبی شکاف، مصالح غیرچسبنده، فرسایش عرضی، حفاظت رودخانه.

مقدمه

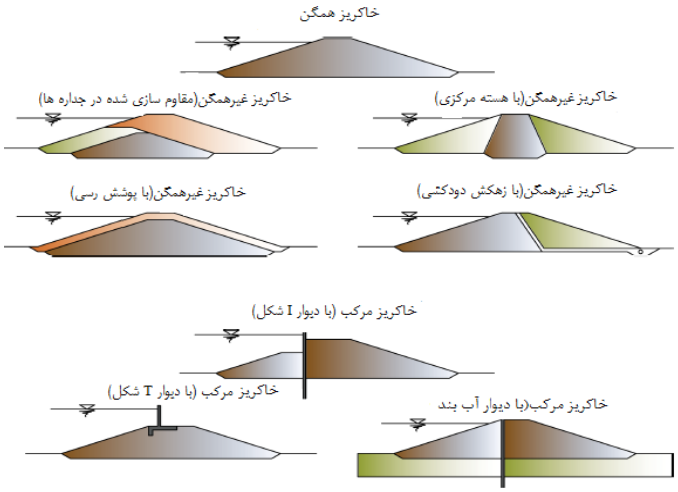
یکی از ضروریات مهم پروژه‌های بزرگ توسعه‌ی منابع آب مهار سیلاب است که هدف اصلی آن کاهش یا حذف خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از سیل می‌باشد. از طرفی بسیاری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی در مجاورت رودخانه‌ها احداث شده‌اند و وقوع جریان‌های طغیان‌گر سیلابی و پخش آن می‌تواند خسارت جبران ناپذیری به ارضی و ساختار شبکه وارد آورد. از جمله این شبکه‌ها می‌توان به شبکه آبیاری دز در ناحیه شرقی آن اشاره نمود که بخش بزرگی از شبکه در مجاورت رودخانه کهنک قرار گرفته و دایک شاولی مسئولیت حفاظت از شبکه را از سیلاب‌های این رودخانه بر عهده دارد. اقدامات جامع مدیریت مهار سیلاب شامل دو دسته اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای (مدیریتی) است. ساخت خاک‌ریز یکی از اقدامات سازه‌ای مهار سیلاب می‌باشد که جریان سیلاب را در یک عرض معین محدود کرده و از گسترش سیلاب به مناطق اطراف رودخانه جلوگیری می‌کند (نشریه ۵۲۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور). خاک‌ریزها براساس ترکیب مصالح به دو دسته‌ی اصلی خاک‌ریزهای همگن و غیر همگن تقسیم می‌شوند. خاک‌ریزهای همگن فقط از مصالح ریزدانه و درشت‌دانه و در مکان‌هایی که خاک با دانه‌بندی مناسب در اختیار باشد، ساخته می‌شوند. خاک‌ریزهای غیرهمگن در مکان‌هایی که خاک با دانه‌بندی مناسب در اختیار نیست، احداث می‌شوند. علاوه بر این یک سری خاک‌ریز مرکب هم وجود دارد که با جاسازی سازه‌هایی نظیر دیوارهای I شکل T شکل، دیوارهای ساخته شده با مصالح بنایی و دیوار آب‌بند در خاک‌ریز ساخته می‌شوند (شکل ۱). دیوارهای I شکل و T شکل می‌توانند تراز تاج خاک‌ریز را بالا ببرند و خطر شکست دایک ناشی از عبور آب از روی آن را کاهش دهند (Danka and Zhang, 2015). عموماً شکست خاک‌ریزها در چهار حالت رخ می‌دهد: (الف) عبور آب از روی خاک‌ریز ناشی از سیلاب (شکست هیدرولیکی)، (ب) شکست سازه‌ای ناشی از فرسایش درونی یا رگاب (Piping) (شکست هیدرولیکی- ژئوتکنیکی)، (ج) شکست سازه‌ای ناشی از لغزش شیب‌ها یا مشکلات پی (شکست ژئوتکنیکی) و (د) شکست ناشی از عوامل طبیعی یا لرزش (Schmocker and Hager, 2010). از آنجایی که خاک‌ریزها در دوره‌های زمانی حداقل چند روزه و حداکثر چند هفته‌ای در تماس با آب هستند، شکست ناشی از فرسایش درونی

کمتر در آنها رخ می‌دهد. Imranj،Feliciano Cestero و Chaudhry(2014) نشان دادند، بیش‌ترین شکست ناشی از عبور آب از روی خاک‌ریز می‌باشد. عبور آب از روی خاک‌ریز می‌تواند به دلیل وقوع سیل بیش از سیل طرح، ریزش سنگ، چوب و بسته شدن مسیر، ذوب شدن ناگهانی برف‌ها و غیره باشد. Stephen، Andrew و Webby (2002) شکست خاک‌ریزهای غیرچسبنده را بر اثر عبور آب از روی آن بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فرسایش در صفحه‌ی پایین‌دست و به صورت موازی و با شیب معکوس نسبت به صفحه‌ی پایین‌دست رخ می‌دهد. سپس شکست شیب معکوس به‌صورت عرضی از یک نقطه‌ی متصل ثابت به کف خاک‌ریز به‌صورت دورانی گسترش می‌یابد که موقعیت این نقطه تابعی از اندازه‌ی ذرات خاک‌ریز می‌باشد. Hunt et al. (2005) روند شکست و رابطه‌ی آن را با میزان رطوبت تراکم بررسی کردند. Hunt et al. (2005) چندین آزمایش روی عرض شکست و رابطه‌ی آن با ویژگی خاک انجام دادند که نتایج آن توسط Hanson، Cook و Hunt (2005)به‌عنوان پارامترهای فرسایش پذیری خاک گسترش داده شد. Zhang et al. (2009) فرسایش دایک‌های چسبنده را ناشی از عبور آب از روی آن مورد بررسی قرار دادند و مشاهده نمودند در شیب پایین‌دست و در تراز تاج خاکریز یک سری ریزش‌های ناپیوسته و آبشاری شکل رخ می‌دهد. این ریزش‌ها به‌طور عام به‌عنوان فرسایش پسرونده (Headcut) شناخته می‌شوند. Gregoretti،Maltauro و Lanzoni (2010) شکست سدهای همگن و با مصالح درشت را در بستر شیب‌دار به‌صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. آن‌ها برای تعیین شرایط بحرانی شکست ناشی از لغزش ۱۶۸ آزمایش انجام دادند. آزمایش‌ها با استفاده از سه نوع رسوب مختلف و با دانه‌بندی تقریباً یکنواخت و در یک فلوم با شیب بستر صفر تا ۱۰ درصد انجام شد و نتایج نشان داد میزان ارتفاع آب پشت سد، زاویه‌ی شیب بستر و قطر مصالح بر طرز کار شکست اثر دارد. Wu و Kang (2011) یک مدل ساده برای شکست خاک‌ریزهای مرکب با هسته‌ی رسی ارائه نمودند. در این مدل شکست ناشی از عبور آب رابطه‌ی مستقیم با شیب پایین‌دست دارد و جریان عبوری از شکاف با استفاده از رابطه‌ی سرریز تخمین زده شد. در حالت رگاب فرض شد که جریان آب در گام اول در یک لوله با مقطع مستطیلی حرکت می‌کند و سپس این لوله به‌صورت یکنواخت در امتداد بستر بزرگ می‌شود و در گام‌های زمانی دیگر رسوبات فرسایش می‌یابند تا اینکه سد گسیخته شود. Yu et al. (2013) شکست دایک‌های غیرچسبنده با قطر ذرات متوسط ۰/۶۲، ۰/۰۴، ۰/۳۳ میلی‌متر ناشی از عبور آب از روی آن را در قوس ۱۸۰ درجه بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که تراز آب در دو طرف خاک‌ریز، دبی جریان و ویژگی‌های مصالح خاک-ریز تأثیر به‌سزایی در طرز کار شکست دارد. Larese et al. (2013) به‌صورت آزمایشگاهی و عددی شکست سدهای سنگ‌ریزه‌ای را ناشی از عبور آب از روی آن را مطالعه نمودند. آن‌ها با استفاده از مدل دینامیک سیالات برای شبیه‌سازی سطح آزاد و با استفاده از روش عددی مشکلات جریان و محاسبات مربوط به سد و تغییر شکل آن را انجام دادند. Feliciano Cestero، Imranj وChaudhry (2014) اثر ویژگی‌های خاک را بر عبور آب از روی خاک‌ریز را در مسیر جریان ورودی بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که وجود ذرات ریزدانه (سیلت و رس) در دایک، زمان شکست را افزایش می‌دهد. آن‌ها با استفاده از رابطه‌ی (۱) میزان دبی عبوری از شکاف را محاسبه نمودند.

$$Q_b = Q_{in} - A_s \frac{\Delta H}{\Delta t} \qquad (۱)$$

در این رابطه Q_b: دبی شکاف، Q_{in}: دبی ورودی، A_s: مساحت سطح آب پشت خاکریز، ΔH: تغییرات تراز سطح آب و Δt: بازه زمانی می‌باشد. Bhattaria et al. (2014) خصوصیات شکست دایک را برای چهار نمونه خاک با قطر متوسط ذرات ۰/۳۲۷، ۰/۲۷۸، ۰/۰۸۳، ۰/۰۴۹ میلی‌متر مطالعه آزمایشگاهی نمودند و به این نتیجه رسیدند اندازه‌ی دانه‌ها، دبی شکست و زمان شکست از تأثیرگذارترین عوامل می‌باشند. Danka و Zhang (2015) طرز کار و پارامترهای شکست دایک‌ها را بررسی نمودند. آن‌ها اطلاعات مربوط به هندسه دایک، نوع دایک، مصالح، طول و عمق شکاف، دبی حداکثر و طرز کار شکست را برای بیش از هزار دایک جمع آوری کرده و سپس با استفاده از پنج پارامتر ارتفاع دایک، عرض، نوع مصالح، نوع دایک و طرز کار شکست داده‌های خود را فرموله نمودند.

Wei et al. (2016) شکست خاک‌ریزهای محافظ رودخانه و ساخته شده با مصالح چسبنده ناشی از عبور آب از سرریز کردن آب را بررسی کردند. نتایج نشان داد طرز کار شکست خاک‌ریز می‌تواند به‌صورت مرحله‌ای در شیب جانبی تقسیم شود به گونه‌ای که ابتدا فرسایش رخ داده و به سمت عقب حرکت می‌کند و در مرحله‌ی بعد عرض شکاف ایجاد شده گسترش می‌یابد. در اکثر تحقیقات گذشته سازه‌ی خاک‌ریز عموماً عمود بر مسیر جریان احداث شده است. در تحقیق حاضر به دنبال بررسی فرآیند شکست بر اساس تحلیل‌های ابعادی و استفاده از خاک‌ریز با جنس‌های غیرچسبنده متفاوت در مسیر موازی با جریان در شاخه فرعی می‌باشد.



شکل ۱- طبقه بندی خاک‌ریزها (Danka and Zhang, 2015).

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

با توجه به تحقیقات و مطالعات انجام شده، عوامل موثر بر شکست و توسعه‌ی تخریب دایک‌ها به‌صورت زیر قابل تعریف می‌باشند:

$$f(d_{50},\rho_s,D_r,q_u,\phi,g,h,L,\theta,Q_{in},Q_b,w(t),xh(t),H_0,H(t),t_b,t)=0 \quad (۲)$$

که در رابطه‌ی فوق d_{50}: قطر متوسط ذرات، ρ_s: چگالی ذرات، D_r: درصد تراکم، q_u: مقاومت فشاری خاک، ϕ: زاویه اصطکاک داخلی خاک، g: شتاب ثقل، h: ارتفاع خاک‌ریز، L: طول کف خاک‌ریز، θ: زاویه‌ی شیب بدنه خاک‌ریز، Q_{in}: دبی جریان ورودی به پشت خاک‌ریز، Q_b: دبی عبوری از شکاف، $w(t)$: عرض شکاف ایجاد شده، $xh(t)$: موقعیت محل وقوع آبشار نسبت به زمان، H_0: عمق آب در لحظه‌ی اول پشت خاک‌ریز، $H(t)$: عمق آب در بالادست خاک‌ریز در زمان t، t_b: زمان شکست و t: تغییرات زمان می‌باشد. براساس تحلیل ابعادی و با در نظر گرفتن پارامترهای تکراری ρ_s، h و t، می‌توان با استفاده از نظریه پای-باکینگهام روابط بدون بعد زیر را استخراج نمود که با ترکیب روابط به‌دست آمده و استخراج پارامترهای بدون بعد مهم هیدرولیکی و هندسی رابطه (۳) را به‌عنوان روابط بدون بعد می‌توان نوشت:

$$f\left(\frac{h}{d_{50}},\frac{w(t)}{h},\frac{xh(t_0)}{L},\frac{xh(t)}{H(t)},\frac{\rho_s g d_{50}}{q_u},\frac{Q_{in}}{Q_b},\frac{t}{t_b},\frac{Q_b}{\sqrt{g}H(t)^{1.5}w(t)},\frac{h}{L},\frac{H_0}{h},\frac{H(t)}{h},D_r,\theta,\phi\right)=0 \quad (۳)$$

با توجه به اینکه دایک‌ها در عمل با شیب بدنه‌ی ۱:۲ تا ۱:۳ ساخته می‌شوند، در تمام آزمایش‌ها شیب بدنه ۱:۲/۵ در نظر گرفته شد. لذا با توجه به ثابت بودن شیب از θ صرف نظر می‌شود. با توجه به ثابت بودن طول کف و ارتفاع خاک‌ریز و تراز سطح آب در لحظه‌ی اول از اعداد بی بعد H_0/h و h/L می‌توان صرف نظر نمود. هم‌چنین با توجه به اینکه اثر تعدادی از پارامترها در پارامترهای دیگر نهان است می‌توان آن‌ها حذف نمود. از طرفی در خاک‌های غیرچسبنده به جای پارامتر مقاومت فشاری میتوان از مدول الاستیسیته‌ی خاک‌ریز که تابعی از تراکم نسبی خاک‌ریز می‌باشد، استفاده نمود. در این صورت رابطه‌ی نهایی به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$f\left(\frac{w(t)}{d_{50}},\frac{w(t)}{h},\frac{xh(t_0)}{L},\frac{xh(t)}{H(t)},\frac{\rho_s g d_{50}}{E},\frac{Q_{in}}{Q_b},\frac{t}{t_b},\frac{Q_b}{\sqrt{g}H(t)^{1.5}w(t)},D_r\right)=0 \quad (۴)$$

در رابطه‌ی (۴) پارامترهای اول و دوم از سمت چپ تغییرات بی‌بعد عرض، پارامتر سوم ارتفاع خاک‌ریز به قطر متوسط ذرات، پارامتر چهارم موقعیت اولین آبشار نسبت به طول کف خاک‌ریز، پارامتر پنجم نسبت موقعیت آبشار نسبت به ارتفاع آب پشت خاک‌ریز، پارامتر ششم عدد بدون بعد خاک، پارامتر هفتم نسبت دبی ورودی به دبی شکاف، پارامتر هشتم زمان بی‌بعد و پارامتر نهم پارامتر هیدرولیک جریان نشان داده شده است. پارامتر هیدرولیک جریان نسبت تغییرات دبی عبوری از شکاف را به تغییرات تراز آب پشت خاک‌ریز و عرض شکاف نشان می‌دهد.

لازم به توضیح است در روابط بی بعدی که در آنها q_u وجود دارد برای خاک‌های چسبنده، از ضریب چسبندگی خاک (C) استفاده می‌گردد. در خاک‌های غیرچسبنده می‌توان از مدول الاستیسیته‌ی خاک (E) استفاده نمود. برای استخراج مدول

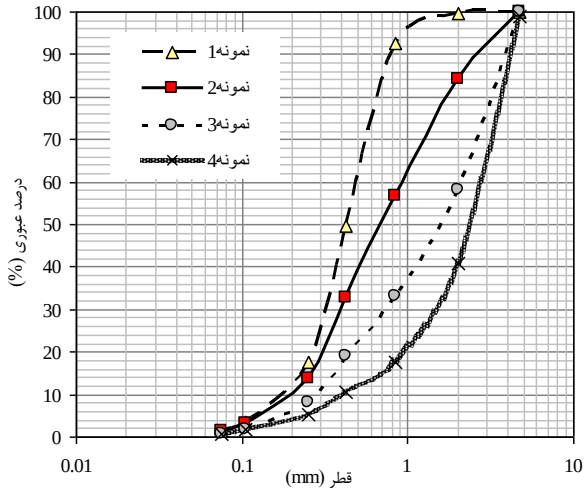
الاستیسته‌ی خاک با توجه به مقدار D_r و نوع دانه‌بندی خاک می‌توان از جداول استاندارد ژئوتکنیکی استفاده نمود (Bowles, 1996). لذا برای خاکریزهای این تحقیق مقادیر مدول الاستیسیته به ترتیب جدول (۱) استخراج شدند.

مشخصات آزمایش‌ها

با توجه به اینکه سازه‌ی خاک‌ریز موازی و در امتداد مسیر رودخانه ساخته می‌شود، برای انجام آزمایش و ایجاد شرایط طبیعی در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشگاه شهید چمران اهواز، یک فلوم فرعی به فلوم اصلی اضافه گردید. فلوم اصلی به طول ۹ متر، عرض ۰/۳۵ متر، ارتفاع ۰/۴ متر می‌باشد. فلوم فرعی در فاصله پنج متری از ابتدای فلوم اصلی و عمود بر آن نصب شد. فلوم فرعی دارای طول۰/۳ متر، عرض ۰/۳۵ متر، ارتفاع ۰/۴ متر می‌باشد. آب مورد نیاز برای انجام آزمایش به وسیله یک پمپ سانتریفیوژ تأمین می‌شود. قبل از مخزن فلوم اصلی یک دبی‌سنج الکترومغناطیسی با دقت ۰/۲ درصد برای اندازه‌گیری و تنظیم میزان دبی ورودی به فلوم قرار دارد. هم‌چنین در انتهای آن یک دریچه برای تنظیم تراز سطح آب و میزان دبی ورودی به فلوم فرعی قرار دارد. در ابتدای فلوم فرعی یک سرریز به ارتفاع ۲۳ سانتی‌متر و یک آرام کننده جریان نصب شد. برای انجام آزمایش‌ها نیاز به تنظیم دبی کانال فرعی می‌باشد که توسط میزان جریان ورودی و باز شدگی جریان انتهایی قابل کنترل است. بدین منظور ابتدا یک دبی مشخص وارد فلوم اصلی شده و میزان بازشدگی دریچه تراز سطح آب را در فلوم ثابت می‌نماید. پس از ثابت شدن تراز سطح آب میزان دبی خروجی از فلوم فرعی به روش حجمی و در تکرارهای مختلف اندازه‌گیری گردید. در این آزمایش‌ها چنانچه دبی هشت لیتر بر ثانیه وارد فلوم اصلی شود و میزان بازشدگی دریچه سه سانتی‌متر باشد، دبی ۱/۴ لیتر بر ثانیه با خطای حداکثر ۲/۵ درصد وارد فلوم فرعی می‌گردد. این میزان در طی آزمایش‌های مختلف مورد باز بینی و کنترل قرار می‌گرفت. خاک‌ریز در فلوم فرعی و در فاصله‌ی ۳۵ سانتی‌متری از ابتدای آن احداث شد. در همه‌ی آزمایش‌ها هندسه‌ی خاک‌ریز ثابت بوده و طول کف خاک‌ریز ۱/۳۵ متر، عرض ۰/۳۵ متر، ارتفاع ۰/۲۵ متر، طول تاج ۰/۱ متر و شیب بدنه‌ی ۱:۲/۵ می‌باشد. در تاج خاک‌ریز و در مرکز آن یک شکاف مستطیلی به عرض ۱۰ سانتی‌متر و عمق سه سانتی‌متر برای کنترل مسیر آبشستگی و فرسایش ایجاد شد. در واقع چهار خاک‌ریز همگن با دانه‌بندی مطابق شکل (۲) ساخته شد و آزمایش‌های شکست خاک‌ریز روی آنها انجام شد.

جدول۱- مدول الاستیسیته‌ی نمونه‌ها

نمونه	d_{50} mm	D_r %	E Mpa
۱	۰/۴۴	۹۲	۳۰
۲	۰/۷	۸۸	۵۰
۳	۱/۷	۸۵	۷۵
۴	۲/۴	۸۰	۱۰۰



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی نمونه‌های خاک برای ساخت خاک‌ریزها

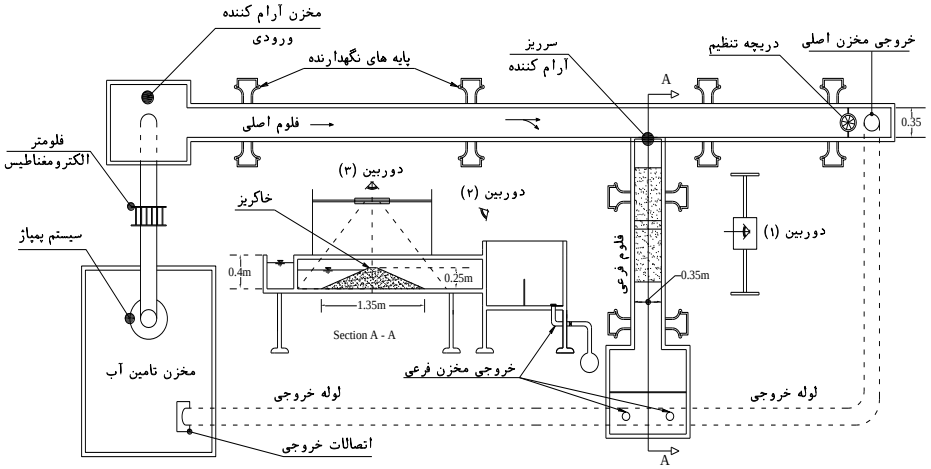
در شکل (۳) موقعیت فلوم و خاک‌ریز نشان داده شده است. هر خاک‌ریز به صورت لایه‌ای تا ارتفاع مورد نظر ساخته شدبه گونه‌ای که ضخامت لایه‌ی متراکم شده پنج سانتی‌متر می‌باشد. برای رسیدن به شیب دلخواه مقطع جانبی دایک بر روی شیشه‌ی فلوم ترسیم گردید سپس خاک اضافی طبق شکل ترسیم شده به وسیله‌ی قالب درست شده به این منظور برش داده شد. برای اندازه‌گیری وزن مخصوص خاک متراکم شده از روش بالن لاستیکی با استاندارد ASTM-D2167 استفاده گردید. مشخصات مقاومت برشی خاک‌ها از آزمایش برش مستقیم با استاندارد ASTM-D3080 به‌دست آمد که در جدول (۲) آورده شده‌اند. در حین آزمایش با سه دوربین با کیفیت ۳۰ فریم در ثانیه از سه نمای بالا، رو به رو و کنار فیلم‌برداری گردید. دوربین‌های نمای بالا و روبه‌رو (دوربین‌های ۳ و ۲) برای ثبت چگونگی تغییرات عرض شکاف و دوربین نمای کنار برای ثبت تغییرات تراز سطح آب مورد استفاده قرار می‌گرفت. پس از انجام آزمایش فیلم ضبط شده به وسیله نرم افزار Free Video to JPG Convert به عکس تبدیل شد و سپس مختصات مربوط به شکاف ایجاد شده و تراز سطح آب در زمان‌های مختلف با استفاده از نرم افزار Enguage Digitizer4.1 استخراج گردید.

نتایج و بحث

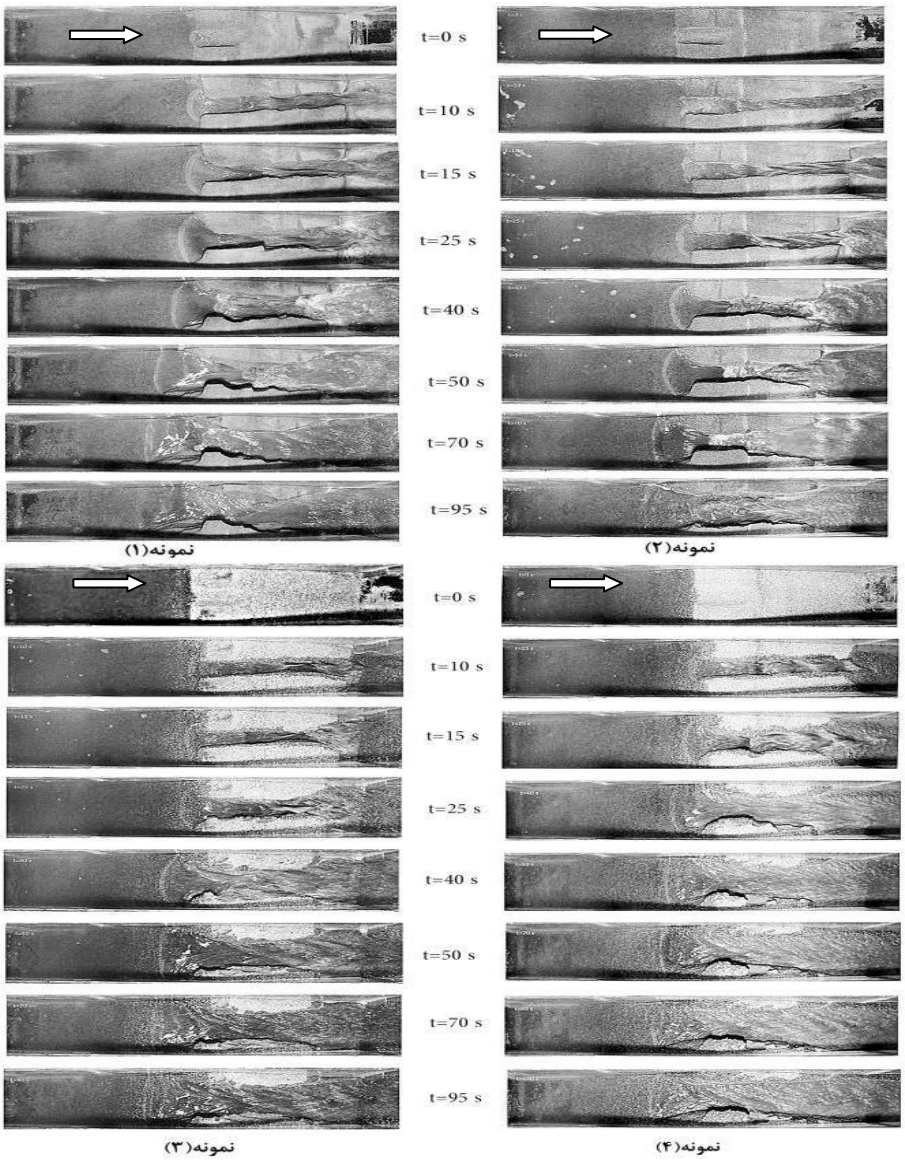
بر اساس آنچه در مواد و روش‌ها بیان شد هدف این تحقیق بررسی روند شکست خاک‌ریزهای ساحلی با مصالح غیرچسبنده و در اندازه‌های متفاوت می‌باشد. شکل (۴) روند تخریب نمونه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. در نمونه‌های ۱ و ۲ با اندازه متوسط ۰/۴۴ و ۰/۷ میلیمتر تا زمان ۴۰ ثانیه عرض شکاف ایجاد شده تقریباً ثابت است و تغییرات در عمق خاک‌ریز می‌باشد و بعد از ۴۰ ثانیه با ریزش توده‌ای جداره‌ها عرض شکاف افزایش می‌یابد ولی در نمونه‌های ۳ و ۴ با اندازه متوسط ۱/۷ و ۲/۴ میلیمتر تا زمان ۴۰ ثانیه تغییرات عرضی زیادی مشاهده می‌شود. در نمونه‌های ۱ و ۲ به دلیل کمتر بودن زاویه اصطکاک و مقاومت کم در برابر جریان به محض جاری شدن جریان روی شیب پایین‌دست ذرات در مسیر خود را شسته و آبشستگی در عمق خاک‌ریز پیشروی نموده و به دلیل چسبندگی ناچیز این دو نمونه جداره‌هایی که به‌صورت قائم باقی مانده، پس از مدت کوتاهی ریزش می‌نمایند. ولی در نمونه‌های ۳ و ۴ به‌دلیل چسبندگی صفر و بیشتر بودن زاویه اصطکاک و وزن مخصوص به محض حرکت آب روی شیب پایین‌دست و فرسایش ذرات در مسیر جریان، جداره‌ها نیز ریزش می‌کنند. در این دو نمونه فرسایش عرضی نسبت به فرسایش عمقی شدیدتر است. این در حالی است که در نمونه‌های ۱ و ۲ فرسایش عمقی از شدت بیشتری نسبت به فرسایش عرضی برخوردار است.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک‌های مورد استفاده در خاک‌ریزها

آزمایش	d_{50} mm	γ g/cm^3	ϕ	C Kpa
۱	۰/۴۴	۱/۶۳	۲۸	ناچیز
۲	۰/۷۷	۱/۷۱	۳۲	ناچیز
۳	۱/۷	۱/۸۴	۳۶	۰
۴	۲/۴	۱/۸۰	۴۲	۰



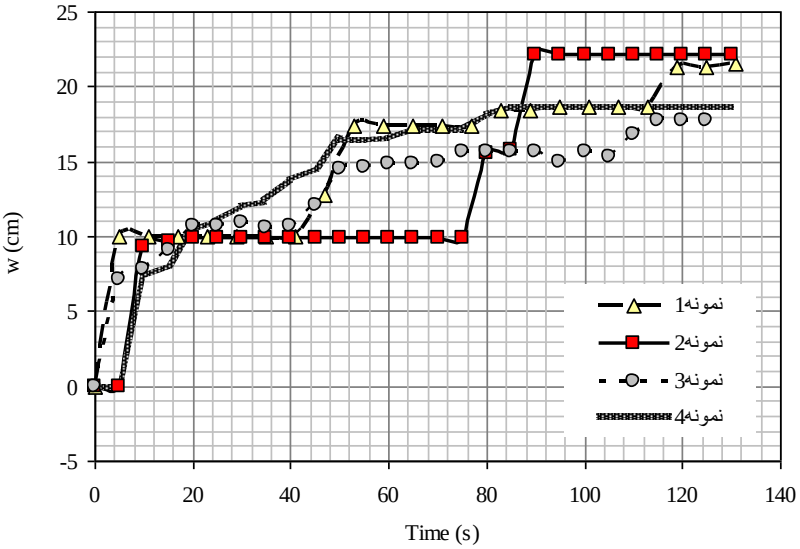
شکل ۳- موقعیت فلوم و خاک‌ریز



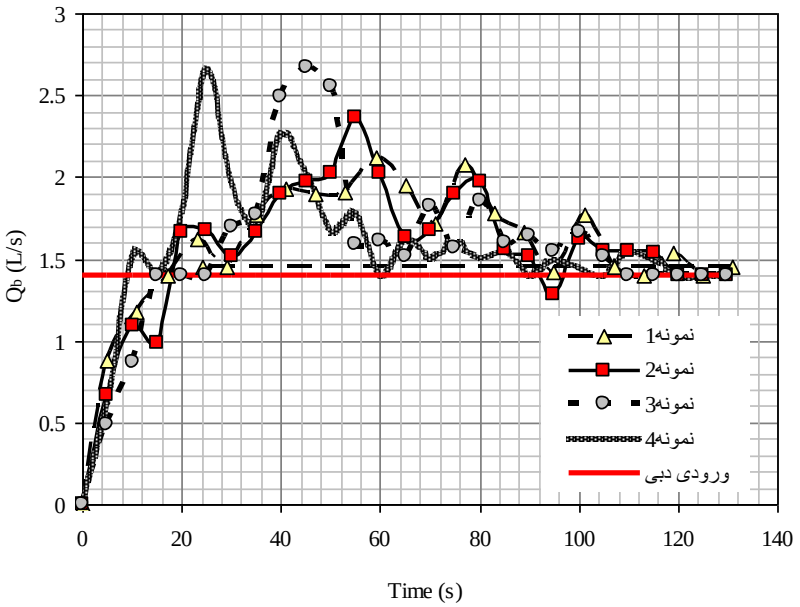
شکل ٤- روند تخریب نمونه‌های یک الی چهار در زمان‌های مختلف

شکل (۵) نمودار تغییرات عرضی شکاف ایجاد شده به وسیله‌ی جریان را روی شیب پایین‌دست و در فاصله پنج سانتی‌متری از تاج نشان می‌دهد. در نمونه‌های ۱ و ۲ تغییرات عرضی در ۱۰ ثانیه‌ی اول ۱۰ سانتی‌متر و برابر با شکاف ایجاد شده در تاج خاک‌ریز می‌باشد ولی در نمونه‌های ۳ و ۴ در ثانیه‌ی اول عرض شکاف ایجاد شده تقریباً هشت سانتی‌متر می‌باشد، یعنی در نمونه‌های ۱ و ۲ در ۱۰ ثانیه عرض شکاف ایجاد شده ۲۰ درصد بیشتر از نمونه‌های ۳ و ۴ است. پس از مدت زمان ۱۰ ثانیه عرض شکاف در نمونه‌ی ۱ تا ۴۰ ثانیه و در نمونه‌ی ۲ تا ۷۵ ثانیه ثابت می‌ماند، ولی پس از این زمان‌ها به‌صورت ناگهانی جداره‌ها ریزش نموده و عرض شکاف افزایش می‌یابد. به گونه‌ای که در در نمونه‌ی ۱ عرض شکاف ۷۰ درصد افزایش و در نمونه‌ی ۲ عرض شکاف ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. در نمونه‌های ۳ و ۴ پس از ۱۰ ثانیه روند افزایش شکاف و تخریب خاک‌ریز با نمونه‌های ۱ و ۲ متفاوت است و با گذشت زمان همواره عرض شکاف به‌صورت تقریباً یکنواخت افزایش می‌یابد. ولی تا حدودی روند تخریب نمونه‌ی ۳ شبیه نمونه‌های ۱ و ۲ می‌باشد. با توجه به ریزش‌های توده‌ای جداره‌ها در نمونه‌های ۱ و ۲ عرض نهایی شکاف از نمونه‌های ۳ و ۴ بیشتر است. به‌طور کلی در نمونه‌های با دانه‌بندی ریز و چسبندگی ناچیز روند تخریب و افزایش عرض شکاف به‌صورت پلکانی بوده و در نمونه‌های درشت‌تر روند افزایش عرض شکاف نسبت به زمان به‌طور یکنواخت رخ می‌دهد. در شکل (۶) نمودار دبی شکاف در برابر زمان برای چهار نمونه نشان داده شده است. در این نمودارها مقدار دبی عبوری به‌صورت نوسانی تغییر می‌کند. پس از رسیدن آب به شکاف ایجاد شده در تاج خاک‌ریز تا مدت زمان کوتاهی آب در در پشت خاک‌ریز در

حال بارآبی گرفتن است و در این مدت دبی عبوری از شکاف از دبی ورودی کمتر است، ولی پس از آن تراز سطح آب پشت خاک‌ریز روند نزولی داشته و دبی شکاف از دبی ورودی بیشتر می‌شود تا اینکه به مقدار حداکثر خود برسد و پس از این مرحله به‌صورت نوسانی تغییر نموده تا اینکه در نهایت تراز سطح آب پشت خاک‌ریز ثابت شده و دبی شکاف با دبی ورودی برابر می‌شود. با توجه به مشخصات و نوع دانه‌بندی خاک مقدار حداکثر دبی شکاف برای هر یک از نمونه‌ها در زمان‌های مختلفی رخ می‌دهد که می‌توان این زمان را به‌عنوان زمان شکست در نظر گرفت.



شکل ۵- نمودار تغییرات عرضی شکاف نسبت به زمان



شکل ٦- نمودار دبی شکاف نسبت به زمان

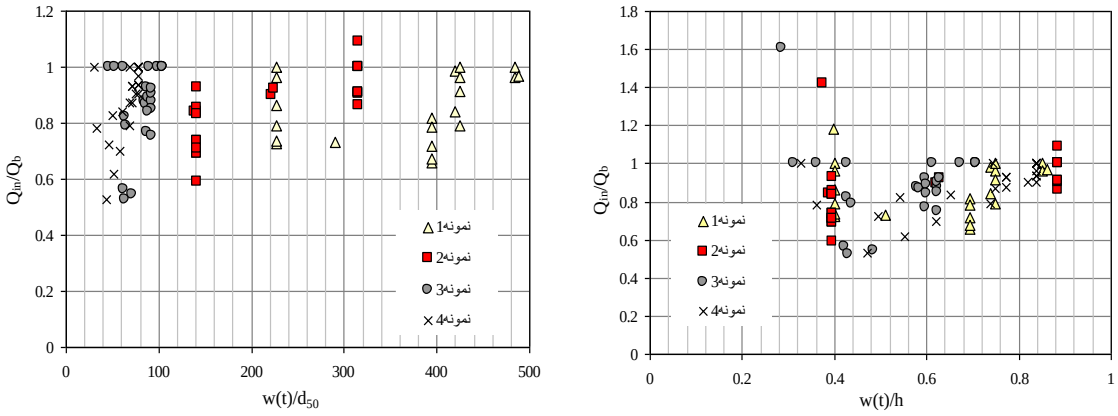
در جدول (۳) مقدار حداکثر دبی شکاف و زمان شکست برای هر یک از نمونه‌ها نشان داده شده است. با توجه به جدول مشخص است که مقدار دبی حداکثر برای نمونه‌های ۳ و ۴ با قطر متوسط ۱/۷ و ۲/۴ میلی‌متر به ترتیب ۲/۶۶ و ۲/۶۵ لیتر بر ثانیه و زمان شکست به‌ترتیب ۴۰ و ۲۰ ثانیه می‌باشد، در این دو نمونه به دلیل وزن مخصوص بیشتر در ابتدا مقاومت در برابر تخریب خاک‌ریزها بیشتر بوده و این امر باعث می‌شود تراز سطح آب پشت خاک‌ریز فزونی بیشتری یابد، ولی با گذشت زمان و افزایش سرعت عبوری از روی خاک‌ریز ذرات توانایی مقاومت در برابر جریان را نداشته و به‌صورت ناگهانی شکسته می‌شوند و حجم زیادی از آب در شکاف جریان می‌یابد. ولی در نمونه‌های ۱ و ۲ به دلیل مقاومت کمتر در برابر جریان به راحتی شسته می‌شوند و آبشستگی عمقی و تدریجی در خاک‌ریز رخ می‌دهد. این موضوع باعث می‌شود جداره‌ها نیز ریزش نموده و حجم زیادی آب از شکاف عبور نماید، لذا در نمونه‌های ۱ و ۲ مقدار حداکثر دبی شکاف به‌ترتیب ۲/۱۱ و ۲/۳۶ لیتر بر ثانیه و زمان شکست به ترتیب ۵۳ و ۵۰ ثانیه می‌باشد. با مقایسه زمان شکست و دبی حداکثر بین نمونه‌های ۱ و ۲ با افزایش ۶۰ درصدی قطر متوسط ذرات، زمان شکست پنج درصد کاهش و مقدار حداکثر دبی شکاف ۱۱ درصد افزایش می‌یابد و از مقایسه‌ی نمونه‌های ۲ و ۳ با افزایش ۱۴۲ درصدی قطر متوسط ذرات، زمان شکست ۲۰ درصد کاهش و حداکثر دبی شکاف ۱۲ درصد افزایش می‌یابد. این در حالی است که از نمونه‌ی ۳ به ۴ با افزایش ۴۱ درصدی قطر متوسط ذرات، زمان شکست ۵۰ درصد کاهش و دبی حداکثر شکاف تقریبا ثابت است. به طور کلی با افزایش قطر ذرات متوسط و زاویه اصطکاک داخلی در نمونه‌های مورد استفاده زمان شکست کاهش و مقدار حداکثر دبی شکاف افزایش می‌یابد.

تحلیل و بررسی پارامترهای بی‌بعد

بر اساس تحلیل ابعادی انجام شده و متغیرهای بی‌بعد به دست آمده می‌توان نمودارهای زیر را ترسیم نمود. در شکل (۷-الف) نسبت دبی ورودی به دبی حداکثر شکاف (دبی بی بعد) در برابر نسبت تغییرات عرض به ارتفاع خاک‌ریز نشان داده شده است. بر اساس این شکل روند کلی تغییرات داده‌ها نشان می‌دهد با افزایش پارامتر بی بعد $w(t)/h$ تا مقدار ۰/۴۵ در نمونه‌های ۳ و ۴ و تا مقدار ۰/۴ در نمونه‌های ۱ و ۲، پارامتر Q_{in}/Q_b ابتدا روند نزولی دارد و سپس صعودی می‌شود. با توجه به روند تغییرات Q_b که در شکل (۶) بحث شد، مشاهده گردید که دبی شکاف علاوه بر تغییرات نوسانی تا رسیدن به زمان شکست دارای روند افزایشی بوده و به مقدار حداکثر رسیده و پس از آن تا برابر شدن دبی شکاف و دبی ورودی روند نزولی دارد. لذا با توجه به قرار گرفتن دبی شکاف در مخرج نسبت Q_{in}/Q_b ، اعداد بی بعد تا رسیدن به دبی حداکثر و زمان شکست دارای روند نزولی هستند و پس از آن دارای روند صعودی می‌باشند. علاوه بر این مشاهده می‌شود که پراکندگی داده‌ها برای نمونه‌ها متفاوت است که ناشی از تفاوت در تغییرات عرضی شکاف می‌باشد. به گونه‌ای که با توجه به پلکانی بودن تغییرات عرضی در نمونه‌های ۱ و ۲ داده‌ها به‌صورت ستونی روی هم قرار گرفته ولی در نمونه‌های ۳ و ۴ (خصوصاً ۴) به‌دلیل افزایش مداوم عرض شکاف ایجاد شده داده‌ها تراکم کمتری در یک مکان دارند. شکل (۷-ب) نسبت تغییرات دبی ورودی به دبی شکاف در برابر تغییرات عرض نسبت به قطر متوسط ذرات را نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که به‌طور کلی با افزایش نسبت Q_{in}/Q_b و یا به عبارتی با به تعادل رسیدن جریان عبوری از روی خاک‌ریز مقدار $w(t)/d_{50}$ نیز روند صعودی دارد ولی با یک شیب بسیار ملایم این تغییرات در حال افزایش است. می‌توان نتیجه‌گیری نمود که پس از زمان تعادل و ثابت شدن دبی عبوری از شکاف روند تغییرات $w(t)/d_{50}$ به صورت یکنواخت رخ خواهد داد. شکل (۸) تغییرات دبی عبوری بدون بعد را در برابر زمان تعادل نمایش می‌دهد. به‌طور کلی مشاهده می‌شود که دبی بی‌بعد در کلیه نمونه‌ها به یک حد ثابتی میل می‌نماید. روند کلی داده‌ها نشان می‌دهد که دبی بی‌بعد تا زمان بی‌بعد ۱ روند نزولی داشته و سپس دارای روند صعودی و در انتها به یک مقدار ثابت می‌رسد. می‌توان مشاهده نمود که در نمونه‌های ۱ و ۲، در صورت تعادل دبی و ثابت شدن مقدار Q_b تا حد دبی ورودی زمان تعادل در حدود ۲ برابر زمان شکست می‌شود و در نمونه‌های ۳ و ۴ در ۲/۵ برابر زمان شکست جریان به تعادل رسیده است. علاوه بر این در نمونه‌های ۳ و ۴ در زمان شکست دبی عبوری حداکثر بیشتر از نمونه‌های ۱ و ۲ بوده است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که در مصالح اندازه ذرات بزرگتر نسبت به مصالح ریزتر به دلیل جریان نشت یافته بین ذرات، زمان شکست کوتاه‌تر و دبی عبوری حداکثر از شکاف بیشتر است.

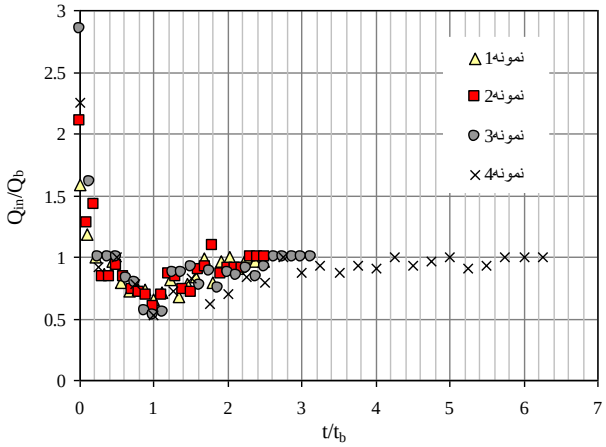
جدول ۳- دبی حداکثر و زمان شکست

نمونه‌های خاک‌ریز	دبی شکست حداکثر (L/s)	زمان شکست (s)
۱	۲/۱۱	۵۳
۲	۲/۳۶	۵۰
۳	۲/۶۶	۴۰
۴	۲/۶۵	۲۰



الف **ب**

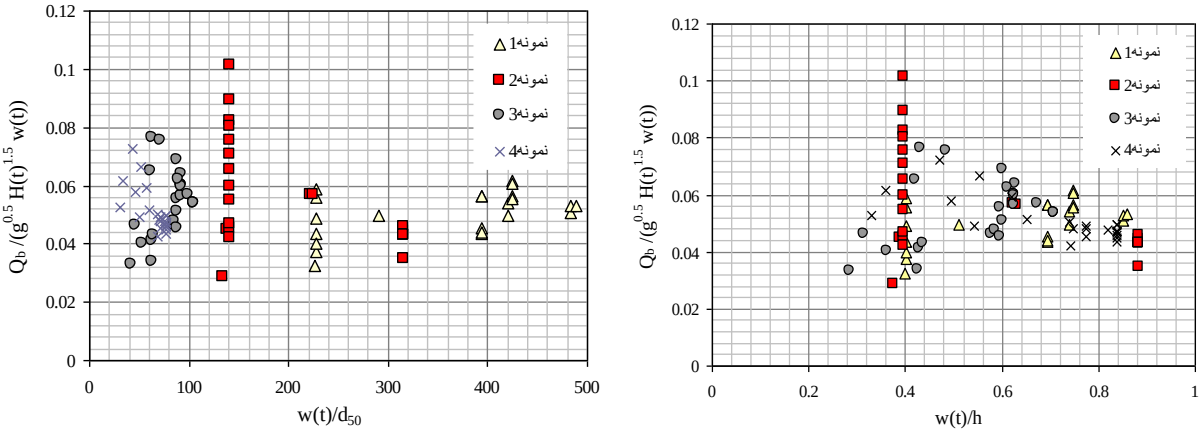
شکل ۷- تغییرات نسبت دبی ورودی به دبی حداکثر شکاف در برابر تغییرات عرضی بی بعد



شکل ۸- تغییرات دبی بی‌بعد نسبت به زمان بی‌بعد

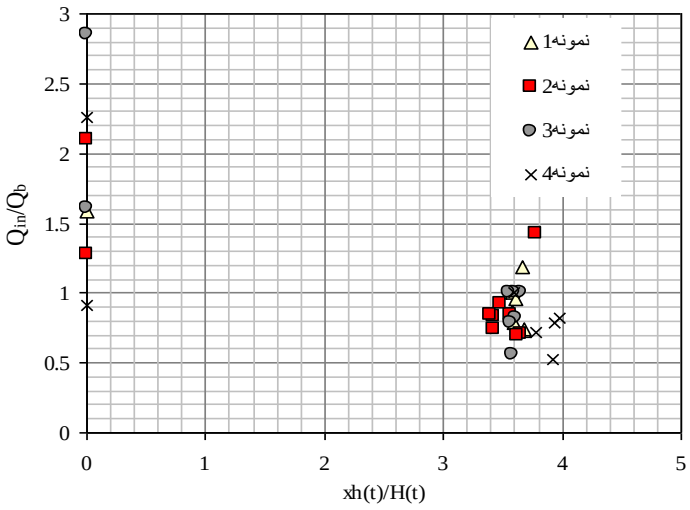
شکل (۹-الف) پارامتر بی‌بعد تغییرات لحظه‌ای هیدرولیک جریان را در برابر نسبت عرض شکاف به ارتفاع خاک‌ریز برای چهار نمونه نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که روند کلی داده‌ها ابتدا به‌صورت صعودی و سپس به‌صورت نزولی می‌باشد. بر اساس شکل (۹-الف) مشخص می‌شود تا نسبت w(t)/h برابر با ۰/۵، نرخ افزایش دبی شکاف در مقایسه با باز شدگی شکاف بیشتر بوده و از این رو تغییرات لحظه‌ای پارامتر هیدرولیکی جریان عبوری از شکاف در حال افزایش است. این در حالی است که با افزایش w(t)/h بیشتر از ۰/۵، تغییرات هندسه شکاف نسبت به جریان عبوری بیشتر شده و باعث می‌شود پارامتر مذکور رو به کاهش باشد. از نظر عددی حداقل مقدار پارامتر هیدرولیکی جریان عبوری ۰/۰۳ بوده و حداکثر مقدار آن تا ۰/۱ اتفاق می‌افتد. شکل (۹-ب) برای هر نمونه از خاک‌ریز محدوده تغییرات پارامتر هیدرولیکی را به خوبی نشان می‌دهد. بر این اساس برای نمونه ۱ می‌توان تغییرات پارامتر هیدرولیکی را از ۰/۰۳۵ تا ۰/۰۶۲ در نظر گرفت. حال آن‌که برای نمونه ۲ از ۰/۰۲۳ تا ۰/۱۱، برای نمونه ۳ از ۰/۰۳ تا ۰/۰۸ و برای نمونه ۴ از ۰/۰۵۵ تا ۰/۰۷۵ رخ می‌دهد. برای مقایسه، پارامتر هیدرولیک جریان برای دو نمونه از مصالح غیرچسبنده‌ی استفاده شده توسط Yu et al. (2013) محاسبه گردید. برای مصالح با اندازه متوسط ۰/۴ میلی‌متر حداقل مقدار پارامتر هیدرولیک جریان ۰/۰۲ و حداکثر مقدار آن ۰/۰۶ و برای مصالح با اندازه متوسط ۰/۳۳ میلی‌متر پارامتر هیدرولیک جریان از ۰/۰۳ تا ۰/۰۳۷ نوسان نموده است. چنین می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر حداقل پارامتر هیدرولیک جریان برای مصالح با اندازه متوسط کوچکتر، کمتر بوده و این موضوع نشان می‌دهد در مصالح ریزتر تغییرات تراز سطح آب و عرض شکاف نسبت به مصالح درشت‌دانه بیشتر می‌باشد. یکی از دیگر نکاتی که در جریان عبوری از روی خاک‌ریز به وقوع می‌پیوندد و حائز اهمیت است، موقعیت آبشار و به ویژه اولین آبشار در پایین‌دست شیب خاک‌ریز نسبت به پاشنه خاک‌ریز است که با xh(t) نمایش داده می‌شود. شکل (۱۰) تغییرات بدون بعد این پارامتر را در برابر دبی عبوری بی‌بعد شکاف نمایش می‌دهد. بر این اساس دبی بی‌بعد در برابر

نسبت محل وقوع آبشار در شیب پایین‌دست به تراز سطح آب در پشت خاک‌ریز در همان زمان نشان داده شده است. با توجه به فاصله‌ی ایجاد شده بین داده‌ها مشخص است که آبشارها از زمان صفر به‌وجود نمی‌آیند و بلکه پس از گذشت مدت زمانی به وجود آمده و تا مدتی ادامه داشته و سپس شسته شده از بین می‌روند. در واقع از این شکل بر می‌آید که تخریب خاکریز در عمل از حدود ۴ برابر عمق آب بالادست رخ داده و شکست نهایی از این ناحیه شروع می‌شود و به سمت بالادست توسعه می‌یابد.

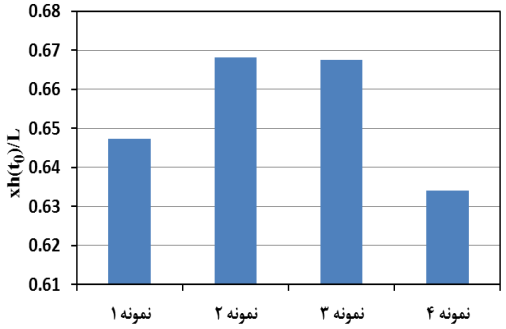


الف ب

شکل ۹- تغییرات پارامتر هیدرولیکی مکانیزم شکست در برابر عرض بی بعد شکاف



شکل ۱۰- تغییرات موقعیت آبشار نسبت به دبی بی‌بعد

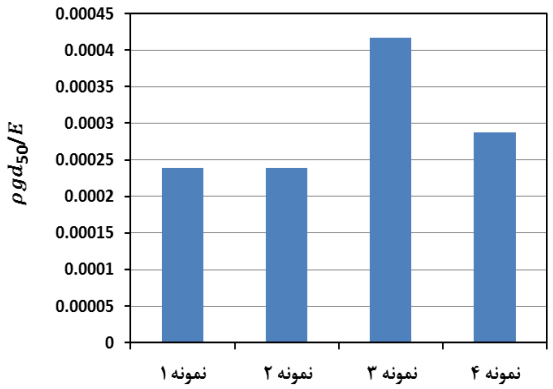


شکل ۱۱- موقعیت تشکیل اولین آبشار نسبت به طول کف خاک‌ریز برای نمونه‌های مورد استفاده

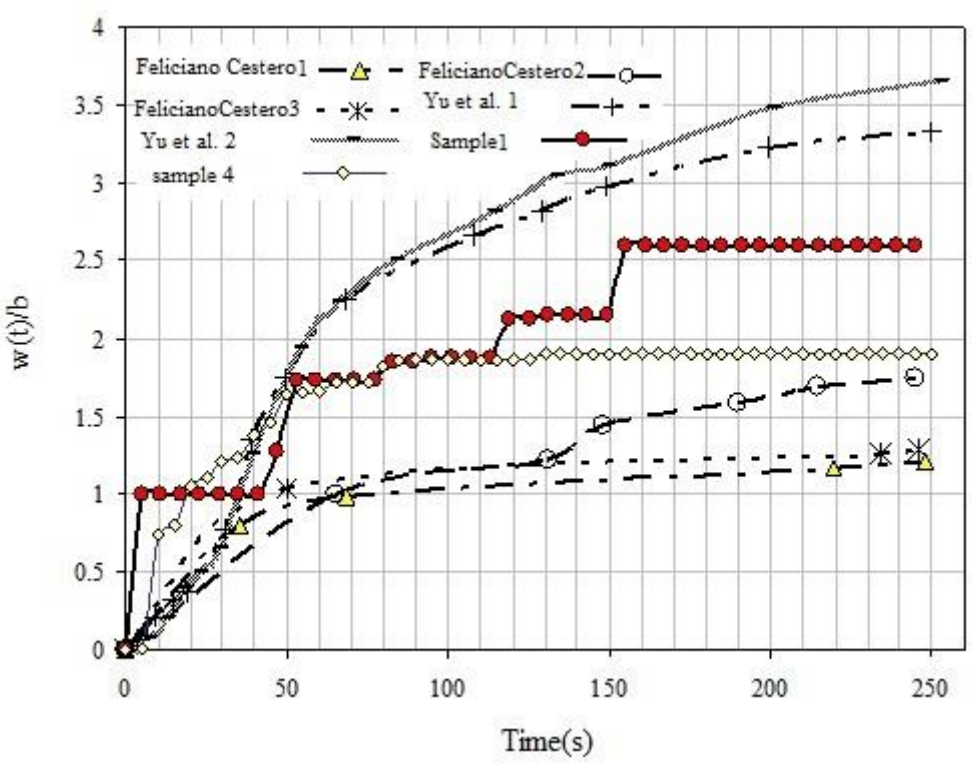
هم‌چنین با توجه به اینکه زمان تشکیل و محل وقوع آبشارها برای نمونه‌ها متفاوت است ولی نسبت xh(t)/H(t) دارای نوسان کمی می‌باشد. بر اساس شکل (۱۰) می‌توان نتیجه‌گیری نمود که برای خاک‌ریزهای غیرچسبنده با افزایش دبی شکاف لحظه‌ای و تا وقتی که دبی ورودی حدود ۰/۸ الی ۳ برابر دبی شکاف است همچنان آبشار ایجاد نشده و پس از مدتی با نزدیک شدن به روند تعادل، آبشاری ناگهانی با xh(t)، ۳/۷ تا ۴ برابر عمق آب بالادست در آن لحظه شکل می‌گیرد. از طرفی بر اساس این شکل به‌طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در کلیه‌ی خاک‌ریزها، موقعیت آبشار ایجاد شده در حدود ۳/۳۵ الی ۴ برابر عمق آب بالادست و روی شیب پایین‌دست رخ می‌دهد. در شکل (۱۱) موقعیت تشکیل اولین آبشار نسبت به طول کف خاک‌ریز نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که برای نمونه‌های ۳ و ۴ با قطر متوسط ۰/۷ و ۱/۷ میلی‌متر محل تشکیل اولین آبشار تقریباً ۰/۶۷ برابر طول کف خاک‌ریز می‌باشد. این در حالی است که برای نمونه‌های ۱ و ۴ محل تشکیل اولین آبشار به ترتیب در فاصله‌ی ۰/۶۴۶ و ۰/۶۳۴ برابر طول کف خاکریز می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که نوع خصوصیات و دانه‌بندی در محل تشکیل آبشارها مؤثر است و برای مصالح با منحنی دانه‌بندی پهن و کشیده‌تر (نمونه‌های ۳ و ۴) در فاصله‌ی بیشتری نسبت پاشنه‌ی خاک‌ریز رخ می‌دهد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که برای خاک‌ریزهای غیرچسبنده محل تشکیل اولین آبشار به‌طور متوسط، ۰/۶۵ طول کف خاک‌ریز می‌باشد. پارامتر بی‌بعد $\rho gd_{50}/E$ نشان دهنده‌ی مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش می‌باشد و می‌توان آن را پارامتر بی‌بعد خاک نامگذاری کرد. در شکل (۱۲) مقادیر پارامتر بی‌بعد خاک را برای نمونه‌های ۱ الی ۴ نشان داده شده است. در واقع از این شکل مشخص می‌شود با افزایش پارامتر بدون بعد مشخصات خاک‌ریز، شکست هیدرولیکی شدیدتری رخ می‌دهد. در واقع با افزایش پارامتر بدون بعد مشخصات خاکریز روی محور y شکل (۱۲) مقاومت خاک‌ریز تاحدی افزایش یافته و این باعث می‌شود که دبی گذرنده از شکاف به حداکثر مقدار خود نسبت به سایر خاک‌ریزها رسیده و پس از آن شکست هیدرولیکی رخ دهد. از طرفی مشخص می‌شود که زمان شکست در این نمونه و هم‌چنین نمونه چهار نسبت به سایرین سریع‌تر رخ می‌دهد.

مقایسه با سایر تحقیقات گذشته

در این بخش به منظور مقایسه با سایر تحقیق‌های انجام شده در گذشته روند تخریب خاکریزها مورد مقایسه قرار گرفت. بر این اساس Yu et al. (2013) با مطالعه بر خاک‌ریزهای غیرچسبنده روند تخریب را به این صورت ارائه نمودند که با رسیدن آب به شکاف ایجاد شده در تاج، روی شیب پایین‌دست آب بریدگی به‌وجود می‌آید که به‌صورت تدریجی گسترش می‌یابد. با گذشت زمان دیواره‌های جانبی شکاف به‌صورت ناگهانی ریزش می‌نمایند. از طرفی مطابق با تحقیقات انجام شده توسط Feliciano Cestero، Imranj و Chaudhry (2014) نیز روند تغییرات عرضی شکاف در خاک‌ریزهای مخلوط مورد مقایسه واقع شد. شکل (۱۳) تغییرات بدون بعد عرضی شکاف در برابر زمان در این تحقیق و پژوهش Feliciano Cestero ، Imranj و Chaudhry (2014) و همچنین Yu et al. (2013) را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۲- پارامتر $\frac{\rho_s g d_{50}}{E}$ برای نمونه‌های خاک‌ریز



شکل ۱۳- تغییرات بدون بعد عرض شکاف در برابر زمان

جدول ٤- مشخصات آزمایش‌های انجام شده

پژوهش	d_{50} (mm)	عرض اولیه شکاف در تاج b (cm)	موقعیت قرائت عرض	زمان تعادل نهایی	محدوده حداکثر w(t)/b
کسترو۱	۰/۳۳۶	۱۰	تاج	۷۰	۱/۲
کسترو۲	۰/۲۲۹	۱۰	تاج	۱۹۰	۱/۷
کسترو۳	۰/۲۲۸	۱۰	تاج	۷۰	۱/۸
هویی و یان ۱	۰/۶۲	۲۰	پنجه	۲۰۰	۳/۳۵
هویی و یان ۲	۰/۴	۲۰	پنجه	۲۰۰	۳/۷
نمونه ۱ تحقیق حاضر	۰/۴۴	۱۰	تاج	۱۵۵	۲/۶
نمونه ۴ تحقیق حاضر	۲/۴	۱۰	تاج	۱۳۰	۱/۹

برای مقایسه بهتر نتایج تحقیق حاضر با پژوهش‌های پیشین شکل (۱۳) ترسیم گردید. در این شکل با توجه با داده‌های در اختیار گرفته شده در سایر تحقیق‌ها و برای تشابه بهتر شرایط آزمایشگاهی از نسبت w(t)/b استفاده گردید. در شکل (۱۳) محور y عرض بدون بعد شکاف، w(t)/b، (نسبت عرض شکاف در هر لحظه به عرض اولیه شکاف ایجاد شده در تاج) می‌باشد. با توجه به این شکل می‌توان دریافت که روند افزایش عرض شکاف از شرایط یکسانی پیروی می‌کند. این موضوع به این معنی است که به‌طور کلی روند تخریب خاک‌ریز با عبور جریان روگذر از آن در همان زمان‌های ابتدایی رخ داده و عموماً تا گذشت زمان حدود ۵۰ ثانیه روند افزایش عرض شکاف فرسایشی با شیب زیادی توسعه می‌یابد. از طرفی با مقایسه هر یک از نمودارهای روند توسعه تخریب تحقیق حاضر با تحقیق Feliciano Cestero،Imranj و Chaudhry(2014) می‌توان دریافت که نسبت عرض شکاف در مطالعات آنها حداکثر در محدوده‌ی ۱/۲ تا ۱/۷ به حالت پایدار رسیده و این در حالی است که در پژوهش حاضر این میزان در حدود ۱/۹ تا ۲/۶ می‌باشد. دلیل این اختلاف این است که نوع مصالح خاک‌ریز به کار گرفته شده در تحقیق Feliciano Cestero،Imranj و Chaudhry (2014) حاوی موارد ریزدانه و چسبنده بوده که در تحقیق حاضر مصالح به طور کلی غیر چسبنده می‌باشند. همچنین در مقایسه با تحقیق هویی و یان (۲۰۱۳) می‌توان دریافت که روند توسعه شکاف آنها در محدوده حداکثری ۳/۳۵ تا ۳/۷ بوده که این موضوع به دلیل یکنواختی نوع مصالح به کار گرفته در تحقیق آنها می‌باشد. لازم به توضیح

است که در تحقیق Yu et al (2013) موقعیت قرائت عرض شکاف در قسمت پنجه صورت گرفته است. برای بررسی دقیق‌تر موضوع محدوده‌ی مشخصات آزمایش‌های انجام شده در تحقیق حاضر، تحقیق Imranj،Feliciano Cestero و Chaudhry(2014) و Yu et al (2013) در جدول (۴) آورده شده است.

نتیجه‌گیری

بر اساس آنچه که در تحقیق حاضر گذشت خلاصه نتایج را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

در نمونه‌های با قطر متوسط کوچکتر با زاویه اصطکاک کمتر و چسبندگی ناچیز ابتدا فرسایش عمقی رخ می‌دهد و پس از گذشت مدت زمان کوتاهی دیواره‌ها ریزش می‌کنند. ولی در نمونه‌های با قطر متوسط بزرگتر فرسایش عرضی شدیدتر می‌باشد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر در کلیه‌ی نمونه‌ها تا زمان ۱۰ ثانیه عرض شکاف ایجاد شده در شیب پایین‌دست برابر با عرض شکاف ایجاد شده در تاج است. این در حالی است که برای شرایط واقعی می‌توان از تشابه فرودی با نسبت مقیاس معلوم، مقادیر زمان شکست را به‌دست آورد. همچنین تغییرات دبی شکاف در برابر زمان نشان می‌دهد که دبی عبوری از شکاف به‌صورت نوسانی تغییر نموده و به‌طور کلی دبی شکاف تا رسیدن به دبی حداکثر شکاف و زمان شکست دارای روند صعودی و پس از آن به‌صورت نوسانی و تا رسیدن به حالت پایدار روند نزولی دارد. نتایج مشخص نمود که در نمونه‌های با قطر متوسط بزرگتر (نمونه‌های ۳ و ۴) میزان دبی شکاف بیشتر و زمان شکست کمتر می‌باشد و نرخ افزایش دبی شکاف نسبت به بازشدگی شکاف در زمان‌های ابتدایی بیشتر است. پارامتر Q_{in}/Q_b به طور متوسط تا مقدار $w(t)/h$ برابر با ۰/۴۲ نزولی و پس از آن دارای روند صعودی می‌باشد. با توجه اینکه در زمان مینیمم شدن نسبت Q_{in}/Q_b دبی شکاف به مقدار حداکثر خود می‌رسد، می‌توان نتیجه گرفت که در زمان شکست عرض شکاف ایجاد شده ۰/۴۲ برابر ارتفاع خاک‌ریز می‌باشد. از طرفی روند تغییرات $w(t)/d_{50}$ تا به تعادل رسیدن جریان عبوری با شیب ملایم افزایش یافته و پس از تعادل روند تغییرات به‌صورت یکنواخت خواهد بود. از نظر کمی نتایج نشان داد در نمونه‌های ۱ و ۲ در ۲ برابر و برای نمونه‌های ۳ و ۴ در ۲/۵ برابر زمان شکست تعریف شده، به طور تقریبی دبی به حالت تعادل رسیده و دبی عبوری از شکاف با دبی ورودی برابر می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که تشکیل آبشارهای روی شیب پایین‌دست به میزان دبی شکاف وابسته بوده به گونه‌ای که مادامی که دبی شکاف تا ۳۰ درصد دبی ورودی باشد، این آبشارها تشکیل نمی‌شوند. از نظر موقعیتی تشکیل آبشارها برای کلیه‌ی نمونه‌های غیرچسبنده‌ی مورد آزمایش تقریباً ۳/۷ الی ۴ برابر عمق آب بالادست می‌باشد و محل تشکیل اولین آبشار برای خاکریزهای غیرچسبنده به‌طور متوسط در فاصله‌ی ۰/۶۵ طول کف دایک و روی شیب پایین‌دست رخ می‌دهد.

سپاسگزاری

حمایت مالی این تحقیق از طریق پژوهانه نویسنده‌ی دوم تأمین شده است که بدینوسیله به پاس تهیه امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی و حمایت مالی از معاون محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1- Bowles, L.E., 1996. *Foundation analysis and design*. McGraw-hill.

2- Bhattarai, P.K., Nahagava, H., Kawaike, K. and Zhang, H., 2014. Experimental study on river dike breach characteristics due to overtopping. J.JSNDS, *33*, pp.65-74.

3- Danka, J. and Zhang, L.M., 2015. Dike failure mechanisms and breaching parameters. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *141*(9), p.04015039.

4- Department of Technical Affairs, Criteria for Water and Wastewater, 2012. Guideline for Design, Construction and Operation of Flood Diversion Works. *Islamic Republic of Iran, vice presidency for strategic planning and supervision*, No.527.

5- Feliciano Cestero, J.A., Imran, J. and Chaudhry, M.H., 2014. Experimental investigation of the effects of soil properties on levee breach by overtopping. *Journal of Hydraulic Engineering*, *141*(4), p.04014085.

6- Gregoretti, C., Maltauro, A. and Lanzoni, S., 2010. Laboratory experiments on the failure of coarse homogeneous sediment natural dams on a sloping bed. *Journal of hydraulic engineering*, *136*(11), pp.868-879.

7- Hanson, G.J., Cook, K.R. and Hunt, S.L., 2005. Physical modeling of overtopping erosion and breach formation of cohesive embankments. *Transactions of the ASAE*, *48*(5), pp.1783-1794.

8- Hanson, G.J. and Hunt, S.L., 2006. Lessons learned using laboratory jet test method to measure soil erodibility of compacted soils. In *2006 ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

9- Hunt, S.L., Hanson, G.J., Cook, K.R. and Kadavy, K.C., 2005. Breach widening observations from earthen embankment tests. *Transactions of the ASAE*, *48*(3), pp.1115-1120.

10-Larese, A., Rossi, R., Oñate, E., Toledo, M.Á., Morán, R. and Campos, H., 2013. Numerical and experimental study of overtopping and failure of rockfill dams. *International Journal of Geomechanics*, *15*(4), p.04014060.

11- Schmocker, L. and Hager, W.H., 2010. Overtopping and breaching of dikes breach profile and breach flow. In *River Flow* (pp. 515-522).

12- Stephen, C.E., Andrews, D.P. and Webby, M.G., 2002. Overtopping breaching of noncohesive homogeneous embankments. *Journal of Hydraulic Engineering*, *128*(9), pp.829-838.

13- Wei, H., Yu, M., Wang, D. and Li, Y., 2016. Overtopping breaching of river levees constructed with cohesive sediments. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *16*(7), pp.1541-1551.

14- Wu, W. and Kang, Y., 2011. A Simplified Breaching Model for Cohesive Embankments. In *World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability* (pp. 2207-2215).

15- Yu, M.H., Wei, H.Y., Liang, Y.J. and Yong, Z.H.A.O., 2013. Investigation of non-cohesive levee breach by overtopping flow. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, *25*(4), pp.572-579.

16- Zhang, J., Li, Y., Xuan, G., Wang, X. and Li, J., 2009. Overtopping breaching of cohesive homogeneous earth dam with different cohesive strength. *Science in China Series E: Technological Sciences*, *52*(10), pp.3024-3029.

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering **Vol. 41, No. 1, Spring 2018, p. 115-131**

EXTENDED ABSTRACT

Hydraulically Failure Mechanism of non-Cohesive Homogenous Protective Embankments by Overtopping

E. Sadeghi Hardangi[1] and J. Ahadiyan[2*]

1- M.Sc Student of Water Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2*- Corresponding author, Associate Professor Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.(*a_ahadiyan@yahoo.com*).

Received:7 June 2016 Accepted:1 November 2016

Keywords: homogenous levee, breach discharge, non-cohesive, lateral erosion, Protective River.

Introduction

flood control is one of the important requirements in development projects of major water resources. In this regard, the main purpose is to reduce or eliminate the economic, social and environmental damages that are caused by floods. On the other hand, many irrigation and drainage networks are in the vicinity of the rivers and, therefore, the occurrence of floods can cause irreparable damage to the land and network structure. Embankment failure due to water overtopping during floods is a common phenomenon which brings great financial losses, human casualties and environmental damages. Therefore, this research was aimed at investigating the mechanism as well as the effective variables on embankment failures.

Material and Methods

Initially, to achieve the purposes of this research, the dimension analysis was performed. However, the influential parameters on failure of dikes are as follows:

$$f(d_{50},\rho_s,D_r,q_u,\phi,g,h,L,\theta,Q_{in},Q_b,w(t),xh(t),H_0,H(t),t_b,t)=0 \quad (1)$$

where d_{50} is the average of particle diameter, ρ_s is the particle density, D_r is the relative density, q_u is the unconfined strength of soil, ϕ is the friction angle, g is the gravity acceleration, h is the embankment height, L is the bottom length of embankment, θ is the angle of side body, Q_{in} is inlet discharge to levee, Q_b is the passed discharge of slot, w(t) is the slot width to time, xh(t) is the head cut location to time, H_0 is the initial water depth, H(t) is the upstream water depth, and t_b and t are the failure time and the time parameters, respectively. On the basis of analytical dimensionless methods, the important dimensionless parameters are as follows:

$$f(\frac{w(t)}{d_{50}},\frac{w(t)}{h},\frac{xh(t_0)}{L},\frac{xh(t)}{H(t)},\frac{\rho_s g d_{50}}{E},\frac{Q_{in}}{Q_b},\frac{t}{t_b},\frac{Q_b}{\sqrt{g}H(t)^{1.5}w(t)},D_r)=0 \quad (2)$$

In this research, four types of non-cohesive soil with average diameters of 0.44, 0.7, 1.7 and 2.4 mm were investigated to construct a levee with 1.35m bed width, 0.25m height, 0.1m crest

width, 0.35m length and a body slope of 1 to 2.5. Inflow discharge was considered to be equal to 1.4 L/s.

Results

In this research, different quantitative and qualitative results were obtained. These results included slotted widths, failure discharges, variations of water depth rather than time, and many other results. For example, slotted width variations to time were investigated and the findings for t=10s showed that the slotted width was equal to 10cm where it was equal to the initial slotted width for samples 1 and 2 while they were smaller for samples 3 and 4. These results are shown in Fig.1.

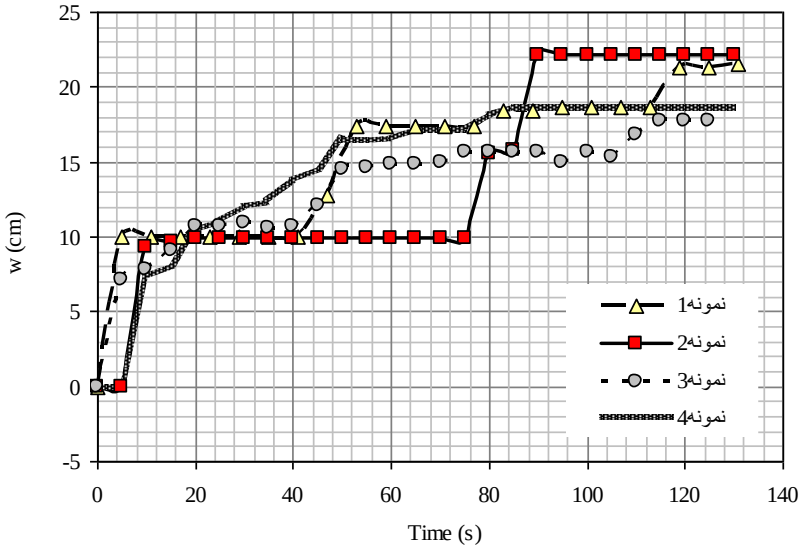


Figure1- Variations of slotted width to time

In addition, Fig.2 shows instantaneous discharge to relative time parameter of the slotted width. However, the dimensionless failure discharge increases up to 1.6 and decreases by w(t)/h.

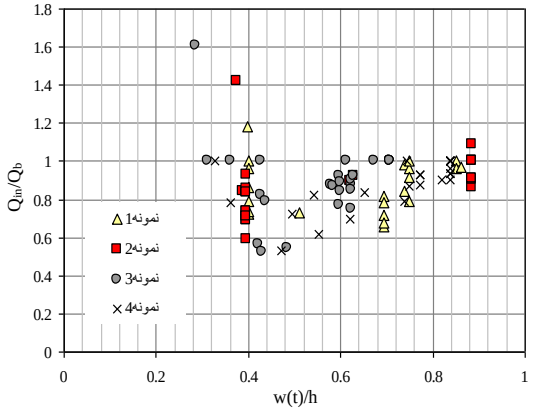


Figure2-Variations of dimensionless failure discharge to slotted width

The results showed that in diameters of 0.44 and 0.7, deep erosion occurs first. In other words, in soils with a smaller equivalent diameter, the erosion groove transverse changes are stair-like and the in models with larger diameters, transverse erosions are more intense. On the other hand, the discharge through the slot have oscillates when the corresponded failure gets to maximize. Also, the results indicated that the groove's maximum discharge increases by 12% as the

particles' diameter changes from 0.44 to 1.7mm. Moreover, the maximum discharge for 1.7 mm and 2.4 mm particles are almost equal. Generally, the failure times of dikes decreased as the average diameter of particles increased. In the next step, the governing non-dimensional equations were extracted and discussed in details.