بررسي مقاومت لايه بندي بتن غلتكي با استفاده از دوغاب سيماني

مرتضي مدح خوان*[۱] و عليرضا آرسته[۲]

[۱]استاديار دانشكده عمران - دانشگاه صنعتي اصفهان

[۲]دانش آموخته كارشناسی ارشد دانشكده عمران - دانشگاه صنعتي اصفهان

(تاريخ دريافت ۸۴/۱۰/۱۰ ، تاريخ دريافت روايت اصلاح شده ۸۵/۱۰/۲۳ ، تاريخ تصويب ۸۶/۲/۲۶)

چكيده

ساخت سدها به شيوه بتن غلتكي فن آوري نسبتاً جديدي است كه در چند ساله اخير توسعه روزافزوني يافته است. با توجه بـه تعـدد درزهاي اجرايي افقي در بدنه سدهاي بتن غلتكي و به منظور افزايش ضريب اطمينـان در طراحـي، تحقيقـي آزمايشـگاهي مبتنـي بـر بهبـود مقاومت لايه بندي با بكارگيري دوغاب سيماني بين لايه اي انجام گرديد. نمونه‌هاي بتن غلتكي در دولايه با حداكثر اندازة سنگدانه ۲۵ mm، سيمان تيپ I كارخانة اصفهان و پوزولان خاش ساخته شدند. بطور كلي در شرايط مختلف استفاده از دوغاب با نسبت‌هاي آب به سيمان ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ و نيز حالت بدون دوغاب، مرحلة اول آزمايش‌هاي مقاومت لايه‌بندي در مقادير فشار نرمال (kg/cm^2 ۱۵ و۱۰ ،۵ ،۰) بـا بكـارگيري دستگاه طراحي شده در اين پژوهش و مرحلة دوم آزمايش‌ها در مقادير فشار نرمال(kg/cm^2 ۴۰ و۳۵ ،۳۰ ،۲۵ ،۲۰) بـا اسـتفاده از دسـتگاه برش مستقيم سنگ شكل گرفت. از مجموع ۲۵۰ نمونة ساخته شده، نتايج مقاومت لايه‌بندي و مقاومت فشاري در سـنين ۷، ۲۸ و۹۰ روزه در مرحلة اول و نتايج مقاومت لايه‌بندي حداكثر و ماندگار در سن ۲۸ روزه در مرحلة دوم حاصل گرديد. براساس نتايج بدست آمده، پارامترهـاي مقاومت لايه‌بندي (c,φ) محاسبه و مورد تجزيه و تحليل قرار گرفت. نتايج اين تحقيق نشان داد كه معيار موهر كلمب به‌خوبي رونـد صـعودي مقاومت لايه‌بندي را با افزايش مقادير فشار نرمال برازش مي‌كند و با افزايش مقادير فشار نرمال از مرحلة اول به مرحلة دوم، ميزان چسبندگي بين‌لايه‌اي كاهش يافته و زاوية اصطكاك بين‌لايه‌اي افزايش مي‌يابد. همچنـين اسـتفاده از دوغـاب بـين‌لايـه‌اي زمينـه‌سـاز افـزايش مقاومـت لايه‌بندي نسبت به حالت بدون دوغاب بوده، كه در اين مورد تغييرات پارامتر چسبندگي (c) از تغييـرات مقاومـت لايـه‌بنـدي پيـروي كـرده، درصورتي‌كه تأثير محسوس تغييرات شرايط بين‌لايه‌اي برروي زاوية اصطكاك (φ) مشهود نيست.

واژه‌های كليدی: بتن‌غلتكي - مقاومت لايه‌بنـدي - فشـار نرمـال - پارامترهـاي چسـبندگي و زاويـة اصـطكاك بين‌لايه‌اي (c,φ)

مقدمه

مقاومت برشي بـه طـور معمـول بحرانـي‌تـرين ويژگـي سـدهاي بـتن غلتكـي مـي‌باشـد. براسـاس مطالعـات آزمايشگاهي و صحرايي انجام شـده مشـاهده گرديـده كـه مقاومت برشي با مقدار مقاومـت فشـاري تغييـر مـي‌كنـد. بدين ترتيب كه اگر مقاومت فشاري كمتر از MPa 5 باشد، مقاومت برشي در حدود ۳۰ درصد مقاومت فشاري اسـت؛ اگر مقاومت فشـاري در حـدود MPa ۱۰ باشـد، مقاومـت برشي در حـدود ۲۵ درصـد مقاومـت فشـاري اسـت؛ اگـر مقاومت فشاري در رنـج MPa ۱۰ تـا ۳۰ باشـد، مقاومـت برشي در رنج ۲۱ تا ۲۵ درصد مقاومت فشاري است و اگـر مقاومت فشاري بيش از MPa ۳۰ باشد، مقاومت برشي در حدود ۲۰ تا ۲۱ درصد مقاومت فشاري مي‌باشد [۱].

مقاومت برشي بتن‌غلتكي بستگي به چسبندگي و زاويه اصطكاك داخلي مصالح آن دارد و كمترين مقاومت برشي، در محل درزهاي اجرايي افقي و در بين لايه‌هـاي مختلـف مي‌باشد. به طور كلي مقاومت برشي درز به مقدار سـيمان مصرفي در مخلوط بتن غلتكي، دانه‌بندي و كيفيت مصالح سنگي ،ميزان تراكم هر لايه، شرايط موجود سطح هر لايـه (اعم از جوي، اجرايي و ...)، سن لايه ، بهبـود سـطح لايـه توسـط اضـافه نمـودن مخلـوط بسـتر، شـاخص بلـوغ يـا عمل‌آوري سطح هر لايه بستگي دارد. محـدوده وسـيعي از مقاومت بين لايه‌اي وجود دارد كه بستگي به مخلوط بـتن غلتكي و عوامل يادشده دارد. با در نظر گرفتن عوامل فوق ، در يک تحقيـق ، چسـبندگي در محـدوده MPa ۲/۵ تـا ۰/۱ و زاويه اصطكاك در محدوده ۳۰ تا ۶۵ درجه [۱] ودر تحقيق ديگر، چسبندگي در محـدوده MPa ۴/۳ تـا ۰/۱ و زاويه اصطكاك در محدوده ۲۵ تا ۷۳ درجه بدسـت آمـده است [۲] . بطوركلي از ميان عوامل يادشده با افزايش كمي و يا كيفي هر عامل، مقاومت برشـي بـين‌لايـه‌اي افـزايش مي‌يابد. همچنـين عمـل‌آوري سـطح هـر لايـه از اهميـت

* نويسنده مسئول : تلفن : ۰۳۱۱ – ۳۹۱۳۸۵۱ , فاكس : ۰۳۱۱ – ۳۹۱۲۷۰۰ , Email: madhkhan@cc.iut.ac.ir

بسزايي برخوردار است. بطوريكه اگر لايـة بعـدي در مـدت $80^{\circ}C-hours$ كه معادل ۴ ساعت در حـرارت $20^{\circ}c$ سطح لايه است ريخته نشود، تقريباً نصف مقاومـت برشـي درز بين لايه‌اي از دست مي‌رود (اين در حالتي اسـت كـه هيچ نوع ديرگيركننده استفاده نشود). پس از شاخص بلوغ $80^{\circ}C-hours$ كاهش در مقاومت برشي بـا رونـد آرام رخ مي‌دهد. اين كاهش تاحـدود $60^{\circ}C-hours$ تـا ۸۰ ادامه مي‌يابد، پس از آن روند كاهش در مقاومت برشي بـا نرخ بيشتري انجام مي‌شود[۱].

باتوجه به اينكه درهر نقطه از ارتفاع سد، ميـزان فشـار قائم متفاوت مي‌باشد ولي تحقيقات تجربـي انجـام گرفتـه ومقاومـت لايـه‌بنـدي (برشـي) ارائـه شـده درآنهـا عمـدتاً درحالت بدون اعمال فشار نرمـال بـوده اسـت، همچنـين پارامترهاي مقاومت برشي ذكرشده در مـدارك فنـي ، بـه مطالعات مغزه‌گيري و آزمون درزه‌هـا بـر روي نمونـه‌هـاي اخذ شـده از سـدهاي سـاخته‌شـده و يـا درحـال سـاخت معطوف مي‌باشـد؛ از ايـن‌رو بعنـوان هـدف اصـلي و بـراي نخسـتين بـار در ايـن پـژوهش، تـأثير مقـادير مختلـف فشارنرمال برمقاومت لايه‌بندي(برشي) درزهاي اجرائي بتن غلتكي ، با استفاده از نمونه‌هاي متداول آزمايشـگاهي و بـا بكارگيري دوغاب سيماني بين‌لايه‌اي بررسي گرديد.

مصالح بتن غلتكي

سيمان

مسأله كنترل حرارت‌زايي درانتخاب نوع سيمان سدهاي بتن غلتكي داراي اهميت ويژه‌اي مـي‌باشـد. دسـتيابي بـه حرارت‌زايي كم، عمـدتا ازطريـق كـاربرد مـواد پـوزولاني و سرباره‌اي صورت مي‌گيرد كه دراين صورت امكـان كـاربرد انواع سيمانهاي پرتلند نظير نوع I ، II و V فراهم مـي‌آيـد [۳]. در تحقيق حاضر از سيمان صادراتي تيـپ I كارخانـه سيمان اصفهان استفاده گرديده كه آناليز شـيميايي آن در جدول (۱) ارائه شده است.

پوزولان

حدود ۹۰ درصد كليه سـدهاي سـاخته شـده تـا سـال ۱۹۹۸ حاوي نوعي ماده افزودني معدني ازقبيل سرباره يـا پـوزولان بـوده‌انـد وتنهـا در ۱۰ درصـد مـوارد، سـيمان به‌تنهايي در ساخت بتن غلتكي بكار رفته‌است [۳]. در اين تحقيق جهت جايگزيني قسمتي از سيمان با مواد پوزولاني (به‌ميزان ۲۵%) از پودر پـوزولان طبيعـي تفتـان در طـرح مخلوط بتن غلتكي استفاده گرديد كـه داراي خصوصـيات زير مي‌باشد:

- درجة نرمي برحسب باقيمانده روي الك ۲۰۰، حداكثر ۵%
- بلين حدود ۳۴۰۰ تا ۳۵۰۰ سانتيمتر مربع برگرم

نتـايج حاصـل از تجزيـه شـيميايي آن در جـدول(۲) آمده‌است.

سنگدانه

از آنجا كه سنگدانه‌ها حجمي بـين ۷۵ تـا ۸۵ درصـد از حجم كل بتن غلتكي راتشكيل مي‌دهنـد[۴]، لـذا خـواص آنها از فاكتورهاي تأثيرگذار برخواص بتن غلتكي در حالت تازه و سخت‌شده مي‌باشد. شن مصرفي از نوع رودخانـه‌اي شكسـته باحـداكثر انـدازه سـنگدانه ۲۵/۴ ميليمتـر در اسـتاندارد ASTM C33 و ماسـه مصـرفي از نـوع ماسـه طبيعي با ۴/۲% مقدار مصالح عبـوري از الـك ۲۰۰ (غيـر خميري) منطبق بر استاندارد ASTMC33 مـي باشـد[۵]. نسبت وزني شن به ماسـه درطـرح اخـتلاط بـتن غلتكـي معـادل ۵۵ بـه ۴۵ درنظـر گرفتـه شـده اسـت، كـه در شكل‌هاي (۲)و (۳) دانه‌بندي ريـزدانـه و درشـت‌دانـه در مقايسه با منحني‌هاي حداكثر و حداقل ارائه گرديده است.

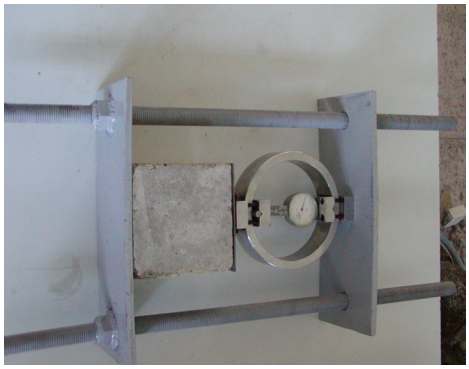
برنامة آزمايشهاي مرحلة اول

با استفاده از مصالح فوق نمونه‌هاي بتن غلتكي بـا طـرح اختلاط بهينه [۶] كه‌در جـدول (۳) آمـده‌اسـت بصـورت مكعبي ۱۵×۱۵×۱۵ سانتيمتر و در دو لايه ساخته‌شدند و هر لايه با استفاده از چكش ارتعاشي الكتريكي مطابق بـا ASTM C1435 بمـدت ۱۵ ثانيـه متـراكم گرديـد[۷]،. نمونه‌ها در محيط آزمايشگاه و مطابق با روشهاي معمـول، براي انجام تستهاي مقاومـت برشـي و فشـاري در سـنين ۲۸،۷و۹۰ روز عمل‌آوري شـدند. آزمايشـهاي انجـام شـده، نسبت‌هاي مختلف آب به سيمان دوغاب بين‌لايـه‌اي (۰/۵، ۰/۷۵و۱) با ضخامت حدود ۳ ميليمتـر و مقـادير مختلـف فشار نرمال (0، ۵، ۱۰و۱۵ kg/cm^2) را دربرمي‌گيـرد. نظـر به اينكه شرايط بين‌لايه‌اي بصـورت درز سـرد، نسـبت بـه حالتهاي درز گرم و درز داغ بحراني‌تر مـي‌باشـد. بنـابراين بطور ثابت درز سرد با شاخص بلوغ $60^{\circ}C-h$ بعنـوان

شرايط بين‌لايه‌اي انتخاب‌گرديد. بدين‌معني‌كه مثلاً اگر دماي آزمايشگاه در هنگام ساخت نمونه‌ها در حدود ٢٢ °C بود، آغاز فرآيند ساخت لاية دوم كه شامل ريختن دوغاب بين لايه‌اي، توزين مصالح، اختلاط و تراكم آن مي‌باشد، در زماني حدود٢ ساعت و ۴۵ دقيقه پس از اتمام ساخت لايه اول صورت مي‌گرفت.

روش اندازه‌گيري مقاومت لايه‌بندي

از آنجا كه درز اجرايي را مي‌توان يك گسيختگي تحميلي و از پيش تعيين شده در توده بتن تلقي نمود، لذا براي سنجش مقاومت لايه‌بندي بتن‌غلتكي با استناد به نتايج تحقيقات قبلي [٨]، دستگاهي با مكانيسم شبيه دستگاه برش مستقيم خاك طراحي و مورد استفاده قرارگرفت [٩]. بدين ترتيب كه ابتدا جهت اعمال فشار نرمال مورد نظر، نمونه بتني در داخل قابي مطابق شكل(١) قرارمي‌گيرد. قاب مذكور از يك صفحه ثابت و يك صفحه متحرك تشكيل گرديده كه با استفاده از تئوري مكانيكي پيچهاي پرمقاومت و با سفت كردن مهره‌هاي صفحه متحرك، فشار نرمال مورد نظر وارد مي‌گردد.



شكل١: نحوه اعمال فشار نرمال بر نمونه.

جدول١:آناليز شيميايي سيمان مصرفي در طرح اختلاط بتن غلتكي (%)

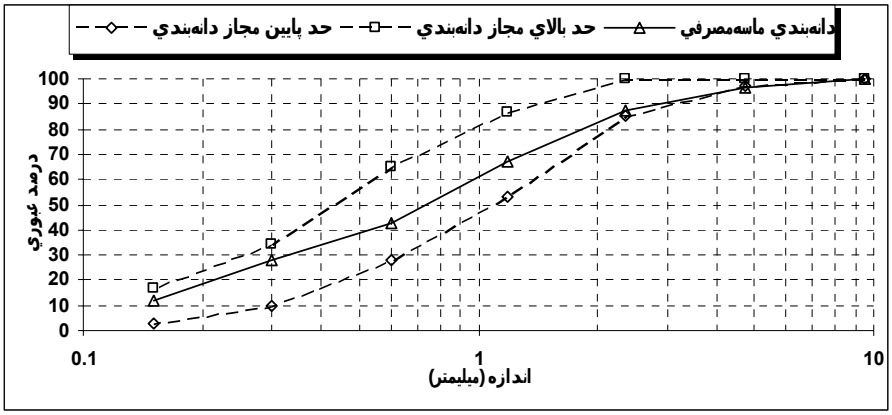
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
٢١/۶٨	۵/٧٢	٣/٢٨	۶٣/۵٣	١/٧۵	١/۶٣	٠/٢٠	/۵٢	۴۶/١٣	٢٧/٣٨	٩/۶١	٩/٩٨

جدول٢:تجزيه شيميايي پوزولان طبيعي تفتان (%).

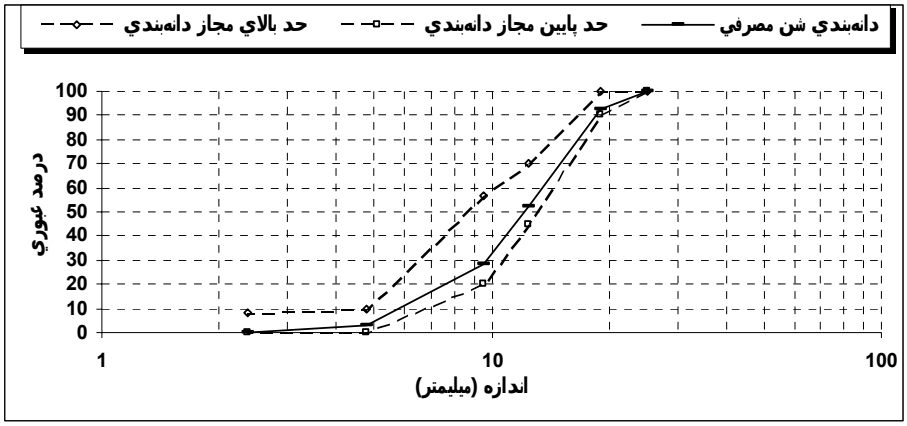
Sio_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	So_3	Na_2O	K_2O
۵٧/٣۵	١٨/٢	۵	۶/٢٣	١/۴۵	١/٩٣	٣/۵	١/٧٢

جدول٣: مشخصات طرح اختلاط (وزن مصالح مخلوط دريك متر مكعب).

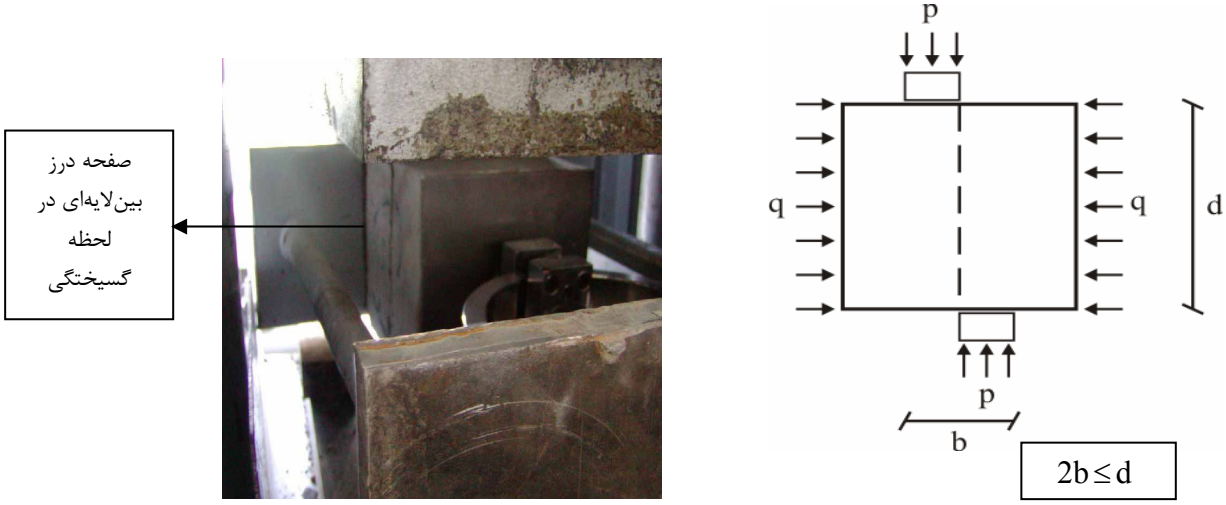
وزن مصالح مخلوط (كيلوگرم بر متر مكعب)				
مواد سيماني		مصالح سنگي		آب
سيمان	پوزولان	شن	ماسه	
١٣٩	٣۵	١١۶١	٩۵٠	١٣٧



شكل ٢: منحني دانه‌بندي ماسة مصرفي و مقايسه باحدوددانه بندی استاندارد ASTM C33.



شكل ۳: منحني دانه‌بندي شن مصرفي و مقايسه باحدوددانه بندی استاندارد ASTM C33.



شكل۴: مكانيسم اعمال نيروهاي نرمال و برشي وارد بر نمونه.

شكل۵: تصويري از وضعيت نمونه در لحظه گسيختگي برشي.

پس ازآن دستگاه محتوي نمونه درزير جك فشار (به‌نحوي كه جهت اعمال فشار با جهت درز يكسان است) قرار مي‌گيرد. سپس با قراردادن دو صفحه كشويي دربالا وپايين نمونه بصورت مماس با درز (درجهت‌هاي مخالف) با اعمال بار جك فشار، نمونه بتني بصورت برشي و در محل درز اجرايي گسيخته خواهد شد (شكل۵).

تجزيه وتحليل نتايج مرحلة اول

اينك با توجه به نتايج بدست آمده از آزمايشهاي مقاومت لايه‌بندي به بررسي تغييرات پارامترهاي مختلف مي‌پردازيم.

مقاومت لايه‌بندي در سنين مختلف

براساس نتايج بدست‌آمده، براي هريك از نسبت آب به سيمان‌هاي دوغاب بين لايه‌اي، تغييرات مقاومت لايه‌بندي دربرابر تغييرات فشار نرمال بصورت نمودارهاي خطي بهمراه ضرايب همبستگي مربوطه در شكلهاي (۶)، (۷) و (۸) به تفكيك سن نمونه ارائه گرديده است. در هر يك از سنين مختلف، حالت عدم استفاده از دوغاب بين لايه‌اي داراي كمترين مقاومت لايه‌بندي و حالت استفاده از دوغاب با نسبت آب به سيمان ۰/۵ داراي بيشترين مقاومت لايه‌بندي بوده‌اند و با كاهش نسبت آب به سيمان دوغاب بين‌لايه‌اي، مقاومت لايه‌بندي افزايش مي‌يابد. اين روند در افزايش مقاومت لايه‌بندي نتايج ۲۸ روزه در نمودارهاي شكل (۷) نسبت به بقيه شكلها بيشتر محسوس مي‌باشد.

اگر τ_{ijk} برابربا مقاومت لايه‌بندي نمونه بتن‌غلتكي با مشخصات نسبت آب به سيمان دوغاب بين‌لايه‌اي i ، فشار نرمال j و سن k باشد و τ_{0jk} مقاومت لايه‌بندي درحالت عدم استفاده از دوغاب بين‌لايه‌اي (نمونه شاهد) با همان مشخصات فشار نرمال وسن آزمايش باشد، درآن‌صورت

شاخص بهبود مقاومت لايه‌بندي (I_{ijk}) بصورت ذيل قابل تعيين مي‌باشد:

$$I_{ijk} = [[\tau_{ijk} - \tau_{0jk}] / \tau_{0jk}] * 100$$

در مرحلة اول و در سن ۷ روزه، بيشترين و كمترين مقادير شاخص مذكور برابر ۹/۷۷ و ۱/۳۳ درصد، در سن ۲۸ روزه برابر ۱۵/۷۱ و ۷/۹۱ درصد و در سن ۹۰ روزه برابر ۱۰/۶۷ و ۲/۶۰ درصد حاصل گرديد.

پارامترهاي مقاومت برشي (c,φ) در سنين مختلف

درمحدوده طرح‌هاي دوغاب بين‌لايه‌اي، مقادير چسبندگي بين لايه‌اي مابين ۲۶/۹۸ Kg/cm^2 تا ۱۶/۴۴ و مقادير زاويه اصطكاك بين لايه‌اي مابين ۳۲/۴۱ تا ۳۷/۳ درجه در سنين مختلف متغير مي‌باشد. همچنين روند تغييرات چسبندگي از تغييرات مقاومت لايه‌بندي پيروي‌كرده، بطوريكه بيشترين و كمترين مقادير به‌ترتيب در شرايط دوغاب با w/c =۰/۵ و بدون دوغاب بدست آمده (شكل۹)، درصورتيكه تغييرات زاويه اصطكاك روند مشخصي نداشته و بيشترين وكمترين مقادير به‌ترتيب مربوط به شرايط دوغاب با w/c =۰/۷۵ و w/c =۱/۰ مي‌باشد (شكل ۱۰).

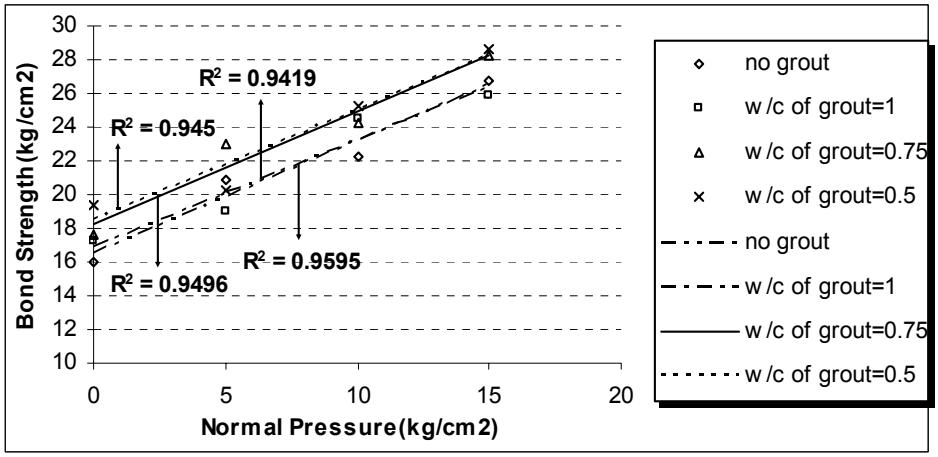
بررسي نتايج مقاومت فشاري

با توجه به اينكه شرايط مختلف دوغاب بين‌لايه‌اي برروي مقاومت فشاري تأثير محسوسي ندارد، در يك بازة كلي مي‌توان عنوان نمود كه حصول مقاومت فشاري سن ۷ روزه در حدود ۶۸/۶ تا ۷۳/۷ درصدِ نتايج ۲۸ روزه بدست آمده و حصول مقاومت فشاري سن ۹۰ روزه در حدود ۲۸/۴ تا ۳۴/۱ درصد نسبت به نتايج ۲۸ روزه رشد داشته است (شكل ۱۱).

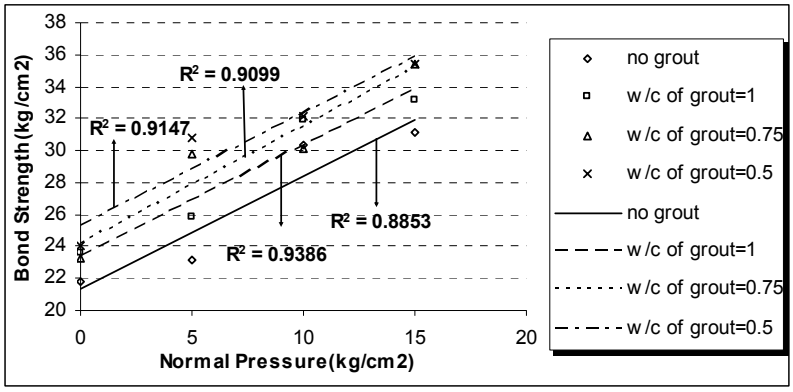
همچنين ازآنجا كه مقدار مواد سيماني (سيمان+پوزولان) نقش تعيين‌كننده‌اي بر مقاومت فشاري دارد، نسبت مقاومت فشاري به مقدار مواد سيماني را بعنوان كاركرد مخلوط[1] بتن غلتكي تعريف مي‌نمايند [۱۰]. البته واضح است كه اين شاخص به تنهايي نمي‌تواند بعنوان يك كميت دقيق جهت مقايسه انواع مخلوطها مطرح باشد؛ چراكه مقاومت فشاري تابعي از عواملي نظير دانه‌بندي مصالح سنگي، شكسته يا گرد گوشه بودن مصالح سنگي، نوع مواد سيماني يا پوزولاني، نسبت آب به سيمان، ميزان تراكم بتن غلتكي و..... مي‌باشد. در جدول (۴) ميزان كاركرد نتايج سنين ۷، ۲۸و ۹۰ روزه براساس ميانگين نتايج (با توجه به عدم تأثير شرايط بين‌لايه‌اي بر مقاومت فشاري) آمده است.

جدول ۴: ميانگين كاركرد نتايج مقاومت فشاري سنين ۷، ۲۸و۹۰ روزه (kg/cm^2:kg/m^3) .

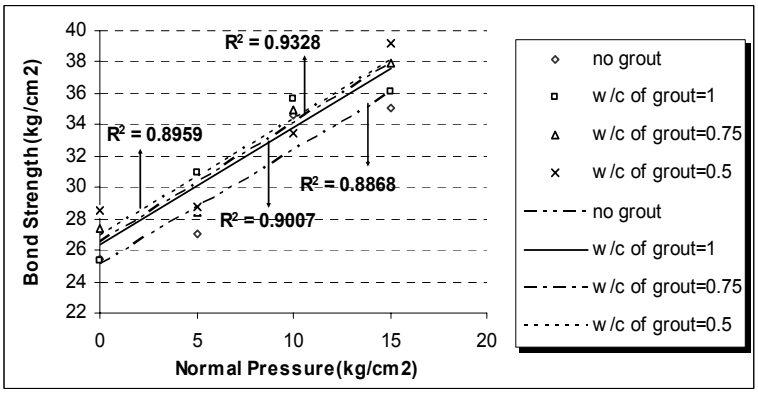
ميزان كاركرد ۷ روزه	ميزان كاركرد ۲۸ روزه	ميزان كاركرد ۹۰ روزه
۰/۵۵	۰/۷۸	۱/۰۱



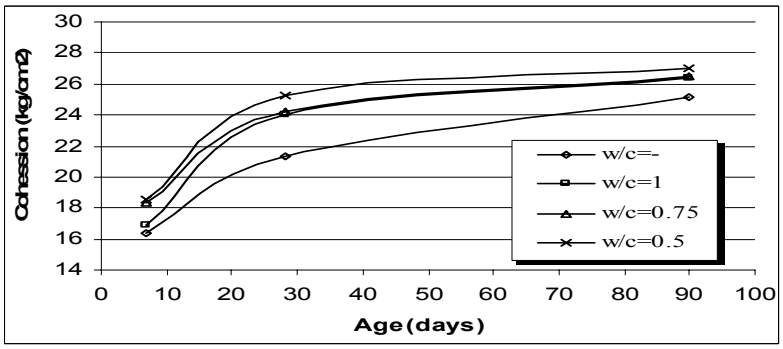
شكل۶: تغييرات مقاومت لايه‌بندي نسبت به تغييرات فشار نرمال در سن ۷روزه با مقايسه نسبت آب به سيمان‌هاي دوغاب.



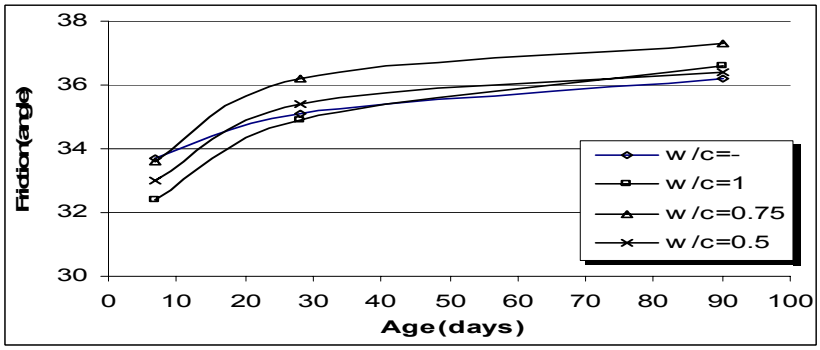
شكل۷: تغييرات مقاومت لايه‌بندي نسبت به تغييرات فشار نرمال در سن ۲۸روزه با مقايسه نسبت آب به سيمان‌هاي دوغاب.



شكل ۸: تغييرات مقاومت لايه‌بندي مقابل تغييرات فشار نرمال در سن ۹۰روزه با مقايسه نسبت آب به سيمان‌هاي دوغاب.



شكل ۹: مقايسه تغييرات چسبندگي (c) براي نسبت‌هاي مختلف آب به سيمان دوغاب بين‌لايه‌اي با گذشت زمان.



شكل ۱۰: مقايسه تغييرات زاويه اصطكاك (φ) براي نسبت‌هاي مختلف آب به سيمان دوغاب بين‌لايه‌اي با گذشت زمان.

جدول ۵: محدودة تغييرات درصد مقادير نسبت مقاومت لايه‌بندي به مقاومت فشاري.

سنين آزمايش	نسبت مقاومت لايه‌بندي به مقاومت فشاري (%)			
	فشارنرمال $\sigma = 0$ kg/cm^2	فشارنرمال $\sigma = 5$ kg/cm^2	فشارنرمال $\sigma = 10$ kg/cm^2	فشارنرمال $\sigma = 15$ kg/cm^2
۷ روزه	۱۶/۲-۲۰/۳	۲۰/۳-۲۳/۷	۲۲/۵-۲۶/۳	۲۷/۷-۲۹/۹
۲۸ روزه	۱۵/۸-۱۷/۷	۱۶/۸-۲۲/۶	۲۲/۱-۲۳/۴	۲۲/۸-۲۶/۸
۹۰ روزه	۱۴/۴-۱۶/۳	۱۵/۳-۱۷/۶	۱۹/۲-۲۰/۳	۲۰/۰-۲۲/۵

پارامتر نسبت مقاومت لايه‌بندي به مقاومت فشاري

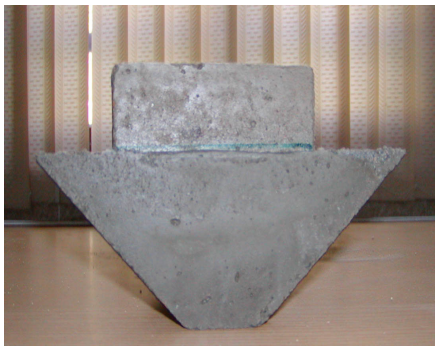
تغييرات انواع مقاومتهاي بتن غلتكي نظير مقاومتهاي كششي، خمشي و برشي (لايه‌بندي) نسبت به مقاومت فشاري سنجيده مي‌شود. بنابراين در اين تحقيق نيز كه تمركز اصلي برروي مقاومت لايه‌بندي بوده، پارامتر نسبت اين مقاومت به مقاومت فشاري داراي اهميت بسزائي مي‌باشد. جدول (۵) محدودة تغييرات اين نسبت را نشان مي‌دهد. بطوركلي نتايج بدست آمده نشان دهندة اين مطلب است كه نسبت مذكور با افزايش مقاومت فشاري، روند نزولي داشته است.

برنامة آزمايش‌هاي مرحلة دوم

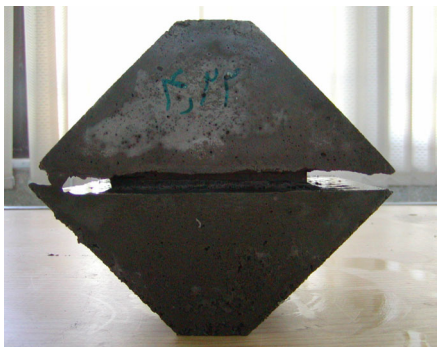
در اين مرحله ازتحقيق حاضر، تستهاي مقاومت لايه‌بندي برروي نمونه‌هاي با ابعاد ۷*۱۰*۱۰ سانتيمتر در شرايط بدون دوغاب بين‌لايه‌اي و نيز نمونه‌هاي داراي دوغاب با نسبتهاي آب به سيمان ۰/۵، ۰/۷۵و۱ ، در سن ۲۸ روزه با استفاده از دستگاه برش مستقيم سنگ صورت گرفت . در اين سري از آزمايشها، مقادير فشار نرمال انجام آزمايش برابر۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵و ۴۰ كيلوگرم بر سانتيمتر مربع درنظرگرفته شدند. شكل‌هاي (۱۱) و (۱۲) دو مرحلة قالبگيري از نمونه، شكل (۱۳) دستگاه برش مستقيم سنگ بكار رفته و شكل (۱۴) وضعيت نهايي نمونه را پس از انجام آزمايش نشان مي‌دهند. لازم به ذكر است تغيير ابعاد نمونه‌ها در مرحلة دوم تنها به دليل لزوم انجام آزمايشها برروي قالبهاي استاندارد دستگاه برش مستقيم سنگ كه داراي ابعاد مذكور مي‌باشند، صورت گرفته‌است.

تجزيه وتحليل نتايج مرحلة دوم

اينك با توجه به نتايج بدست آمده از آزمايشهاي مقاومت لايه‌بندي به بررسي تغييرات پارامترهاي مختلف مي‌پردازيم.



شكل ۱۱: قالبگيری مرحله اول (قسمت پايينی نمونه).



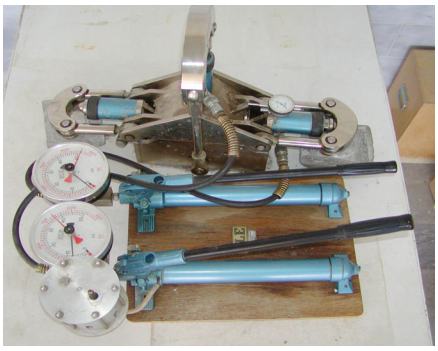
شكل ۱۲: قالبگيری مرحله دوم (قسمت بالايي نمونه).

مقاومت لايه‌بندي (در سن ۲۸ روزه)

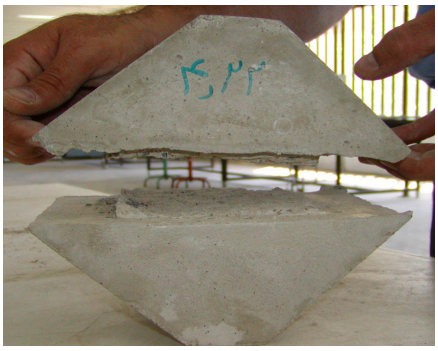
زماني‌كه تنش برشي به ماكزيمم مقدار خود مي‌رسد شكست در روي درز بين لايه‌ها رخ مي‌دهد. در اين‌حالت در اثر تغيير مكان دو لايه بر روي درز تنش برشي ماندگار[۲] كه كمتر از مقدار پيك آن است تحمل مي‌گردد. به منظور مقايسة نمودارهاي خطي بدست‌آمده درشرايط بين‌لايه‌اي مختلف، شكلهاي (۱۵)و (۱۶) براي نتايج مقاومت لايه‌بندي حداكثر و ماندگار ارائه گرديده است.

دراين مرحله از آزمايش‌ها براي هر دو وجه مقاومت لايه‌بندي حداكثر ومقاومت لايه‌بندي ماندگار، حالت عدم استفاده از دوغاب بين‌لايه‌اي داراي كمترين و حالت استفاده از دوغاب با نسبت آب به سيمان ۰/۵ داراي بيشترين مقاومت لايه‌بندي بوده‌اند و با كاهش نسبت آب به سيمان دوغاب بين‌لايه‌اي، مقاومت لايه‌بندي افزايش

مي‌يابد. اين‌موضوع در روند افزايشي مقاومت لايه‌بندي حداكثر نسبت به روند متناظر مقاومت لايه‌بندي ماندگار بيشتر محسوس مي‌باشد. همچنين دامنة تغييرات نسبت مقاومت لايه‌بندي ماندگار به مقاومت لايه‌بندي براي حالت بدون دوغاب، برابر ۴۶/۸-۵۶/۲ درصد، در حالت دوغاب با نسبت آب به سيمان ۱/۰، برابر ۴۶/۲-۵۶/۱ درصد، در حالت دوغاب با نسبت آب به سيمان ۰/۷۵، برابر ۵۶/۳-۴۶/۷ درصد و در حالت دوغاب با نسبت آب به سيمان ۰/۵، برابر ۴۷/۵-۵۶/۹ درصد بدست آمده است.



شكل ۱۳: نماى كلى از دستگاه برش مستقيم سنگ .

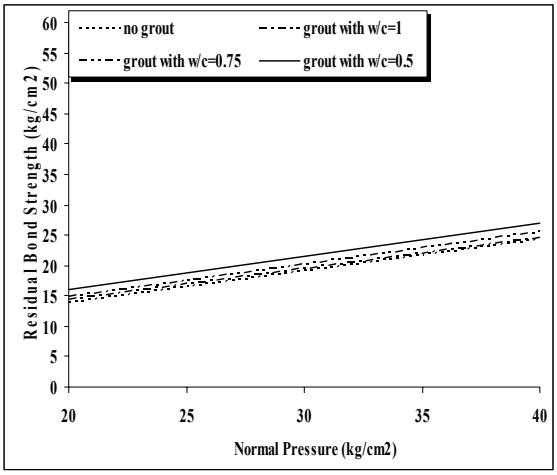


شكل ۱۴: تصويرى از نمونه پس از انجام آزمايش.

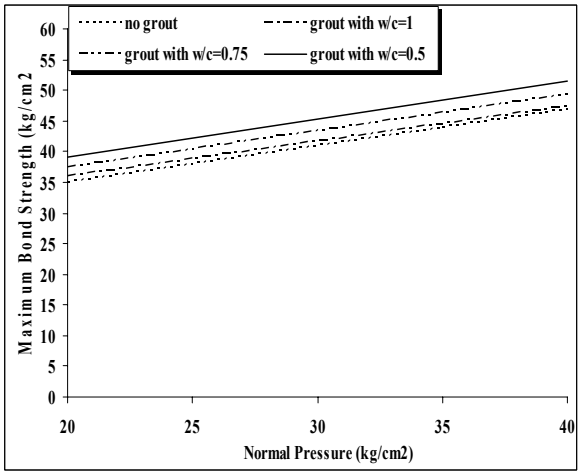
پارامترهاي مقاومت برشي (c,φ)

در محدودة طرح‌هاي دوغاب بين‌لايه‌اي آزمايش، دامنة تغييرات مقادير چسبندگي حداكثر برابر ۲۳/۰ تا ۲۶/۷ كيلوگرم بر سانتيمتر مربع و دامنة تغييرات مقادير چسبندگي ماندگار برابر ۳/۴ تا ۴/۸ كيلوگرم برسانتيمتر مربع مي‌باشد. و نيز دامنة تغييرات مقادير زاوية اصطكاك حداكثر مابين ۳۰/۱ تا ۳۱/۷ درجه و دامنة تغييرات مقادير زاوية اصطكاك ماندگار مابين ۲۷/۴ تا ۲۹/۱ درجه مي‌باشد.

نتايج مشاهدات حاكي از اين مطلب است كه براي هر دو وجه مقاومت لايه‌بندي حداكثر و مقاومت لايه‌بندي ماندگار، روند تغييرات پارامتر چسبندگي بين لايه‌اي از تغييرات مقاومت لايه‌بندي پيروي كرده است. بطوريكه بيشترين و كمترين مقادير به‌ترتيب در شرايط دوغاب با w/c =۰/۵ و بدون دوغاب بدست آمده (شكل۱۷)، درصورتيكه تغييرات زاويه اصطكاك هم در مقاومت لايه‌بندي حداكثر و هم در مقاومت لايه‌بندي ماندگار روند مشخصي نداشته و بيشترين وكمترين مقادير به‌ترتيب مربوط به شرايط دوغاب با w/c =۰/۵ و w/c =۱/۰ مي‌باشد (شكل۱۸).



شكل ۱۵: مقايسة نمودارهاي برازش شدة مقاومت لايه‌بندي حداكثر براي شرايط بين‌لايه‌اي مختلف.

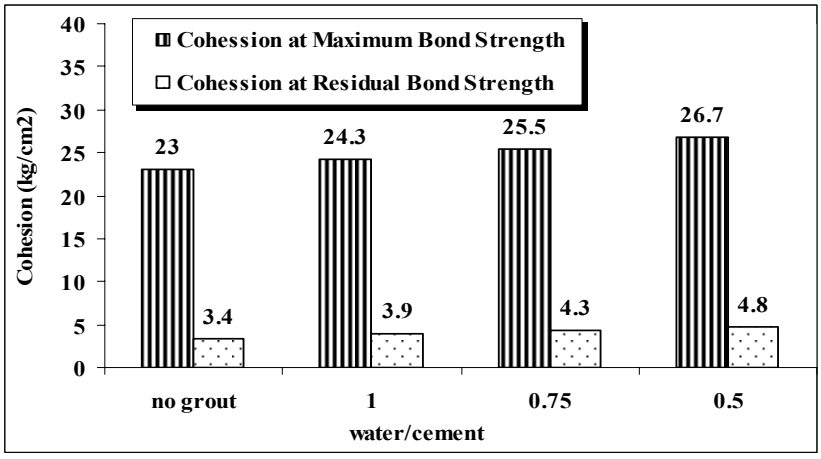


شكل ۱۶: مقايسة نمودارهاي برازش شدة مقاومت لايه‌بندي ماندگار براي شرايط بين‌لايه‌اي مختلف.

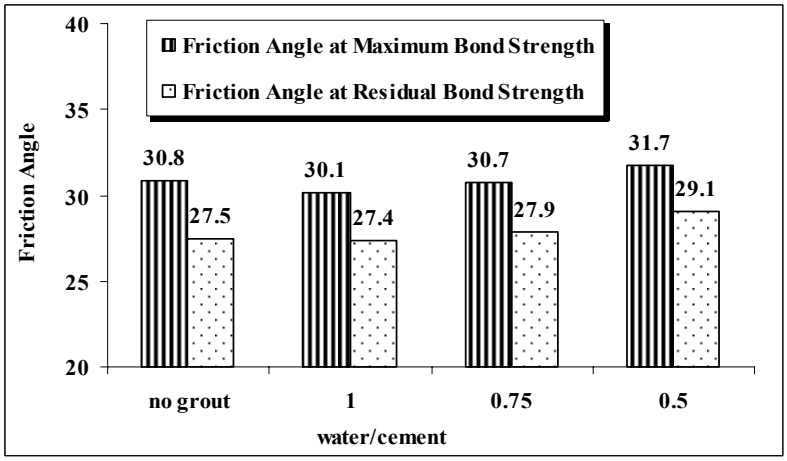
نتايج تغيير مكان برشي حداكثر

در اين سري از آزمايشها مقادير مربوط به حداكثر تغيير مكان برشي نمونه‌ها در حالت درزه متصل (نقطة شروع

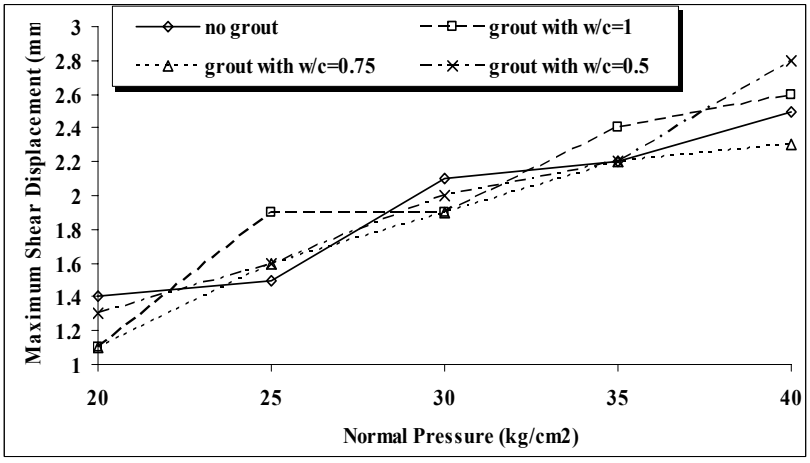
وضـعيت درزة غيـر متصـل) محاسـبه گرديـده و نمـايش چگـونگي تغييـرات آن در شـكل (۱۹) ارائـه شـده اسـت. ملاحظه مي‌گردد كه روند تغيير مكان برشي حداكثر با افـزايش مقـادير فشـار نرمـال نسـبت مسـتقيم داشـته، درحاليكه با تغييرات شـرايط بـين‌لايـه‌اي رونـد مشخصـي مشهود نيست.



شكل ۱۷: تغييرات پارامتر چسبندگي بين‌لايه‌اي حداكثر و ماندگار در شرايط بين‌لايه‌اي مختلف.



شكل ۱۸: تغييرات پارامتر زاويه اصطكاك بين‌لايه‌اي حداكثر و ماندگار در شرايط بين‌لايه‌اي مختلف.



شكل ۱۹: روند تغييرات تغيير مكان برشي حداكثر براي شرايط متفاوت بين‌لايه‌اي و فشار نرمال.

نتيجه‌گيري

۱- در كليـة آزمايشـها، اسـتفاده از دوغـاب سـيماني بين‌لايه‌اي زمينه‌ساز افزايش مقاومت لايه‌بندي نسـبت بـه حالت بـدون دوغـاب بـوده و درصـورت بكـارگيري آن، بـا افزايش نسبت آب به سيمان دوغاب، مقاومـت لايـه‌بنـدي كاهش مي‌يابد. بدين صورت كه درتمامي آزمايشها، ميـزان حـداكثر و حـداقل شـاخص بهبـود مقاومـت لايـه‌بنـدي به‌ترتيب براي نسبتهاي آب به سيمان ۵/ ۰ و ۱ بدست آمد.

۲- در محدودة فشار نرمال مراحـل اول و دوم، تغييـرات پارامتر چسبندگي بين‌لايه‌اي از تغييرات مقاومت لايه‌بندي تبعيت كرده، بطوريكه حالت بدون دوغـاب داراي كمتـرين مقدار چسبندگي بوده و با افزايش نسـبت آب بـه سـيمان دوغاب پارامتر مذكور كاهش مي‌يابد. درصورتيكه تغييـرات شرايط بين‌لايه‌اي برروي پارامتر زاوية اصطكاك بين‌لايه‌اي (φ) داراي روند مشخصي نبوده است.

۳- با اضافه شدن مقادير فشار نرمـال از مرحلـة اول بـه مرحلة دوم، ميزان چسبندگي بين‌لايـه‌اي كـاهش يافتـه و زاوية اصطكاك بين‌لايه‌اي روند صعودي داشته است.

۴- در آزمايش‌هاي مرحلة دوم و در هـر يـك از شـرايط بين‌لايه‌اي با افزايش مقادير فشار نرمال، مقاومت لايه‌بندي مانـدگار از رونـد افزايشـي بيشـتري نسـبت بـه مقاومـت لايه‌بندي حداكثر برخوردار گرديده است. در ايـن مرحلـه، نسبت چسبندگي ماندگار بـه چسـبندگي حـداكثر مـابين ۱۴/۸ الي ۱۸/۰ درصد و نسبت زاوية اصطكاك ماندگار بـه زاوية اصطكاك حداكثر مابين ۸۹/۳ الي ۹۱/۸ درصد براي شرايط بين‌لايه‌اي مختلف، متغير بوده است.

۵- تغييرات شرايط بين‌لايه‌اي، تـأثير محسوسـي بـر نتايج تغيير مكان برشي نداشته (در آزمـايش‌هـاي مرحلـة دوم)، درحاليكه افزايش فشار نرمال بر ميزان تغييـر مكـان برشي حداكثر افزوده است.

مراجع

1 - Schrader, E. k. (2002) "Shear strength and lift joint quality of RCC." *International Journal on Hydropower & Dams,* Vol. 6, No. 1, PP.46-55.

2 - Mclean, F. G. and Pierece, J. S. (1988). "Comparison of joint shear strengths for conventional concrete and roller compacted concrete." *ASCE,* New York, PP. 151-169.

3 - Dunstan, M. R. H. (1999). "Latest development in RCC dams." *Proceedings International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams ,* Chengdu , China, April 21-25.

4 - ACI 211.3R. (1997). *Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete*, American Concrete Institute, ACI, USA.

5 - ASTM C33. (2000). "Standard specification for concrete aggregates." *ASTM,* Vol. 4.08, USA.

6 - Ramazanianpour, A. A. and Hasankhani, A. (2003), "Optimized mix design of rolled compacted concrete." *Proceeding of the 6th International Conference on Civil Engineering,* Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

7 - ASTM C1435. (2000). "Standard practice for modeling roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating hammer." *ASTM,* Vol. 4.08, USA.

8 - Bayat, H. and Rahgozar, R. (2003). "Effect of polymer grout on bond strength of rolled compacted concrete dams." *Proceeding of the 6th International Conference on Civil Engineering,* Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

9 - Arasteh, A. R. (2005). *Study of Bond Strength on Rolled Compacted Concrete under variations of normal pressure*. Master of Science Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

10 - Hansen, K. D. and Reinhard, W. G. (1991). *Roller Compacted Concrete Dams*, McGraw-Hill Com., PP.298.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده درمتن

1 - Mix Efficiency
2 - Residual Shear Strength