# مسائل سازه های آبی درخاکهای شور (مطالعه موردی ـ شبکه آبیاری گتوند)

حسن رحیمی

دانشیارگروه آبیاری وآبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ وصول پانزدهم آبانماه ۱۳۶۸.

## چکیده

وجود املاح مختلف وبخصوص املاح سدیم دربعضی از خاکها وایجاد خصوصیت واگرائی همواره درایجاد سازه های آبی مانند کانالها ، تاسیسات آبگیروانحراف آب مشکلات فراوانی را بصورت شکلهای مختلف تخریب پوشش بتنی تولیدنموده‌است. به طوری که دربسیاری از پروژه های آبیاری وانتقال آب بعلت وجود همین مشکل هزینه های هنگفتی صرف تعمیرات گردیده و متاسفانه تاکنون راه حل قانع‌کننده و مقرون به صرفه دراین زمینه ارائه نشده است. دریك طرح تحقیقی که درزمینه مشکلات پوشش کانالهای بتنی شبکه آبیاری گتوند بعمل آمد ، ضمن بررسی عوارض حاصله وعلل بوجود آمدن آنها ، مسئله رفع مشکل و پیشگیری آن مورد تحقیق قرارگرفت. درمیان این راه حلها استفاده از روش تثبیت خاکهای شور باسیمان ضد سولفات (بصورت مخلوط خاك سیمان) ، آهك و سولفات ـ آلومینیم بررسی شد و ضمن ارزیابی مخلوط از نظر مقاومت نسبت به واگرائی و فرسایش توصیه هائی دراین زمینه ارائه گردید. دراین مقاله ضمن شرح مسئله و بررسی عوارض ونمودهای آن، روشهای مقابله و نتایج حاصله تشریح می‌گردد.

## مقدمه

یکی از مسائلی که همواره درانتخاب منابع قرضه خاك ریزدانه باید مورد بررسی وتوجه قرارگیرد وجود ومیزان انواع مختلف نمك های محلول وغیرمحلول در این مصالح می‌باشد. تجربیات گذشته نشان داده است که عدم توجه به این مسئله دراجرای سازه های آبی مشکلات فراوانی را پدید آورده که بعضا " منجربه تخریب و غیرقابل استفاده شدن آنهاگردیده است. ازجمله مهمترین پدیده هائی که دراین ارتباط می‌توان مورد توجه قرارداد یکی ایجاد پدیده واگرائی دراین نوع خاکها و دیگری مسئله شسته شدن املاح وتغییربافت و بالنتیجه خصوصیات فیزیکو ـ مکانیکی خاك می‌باشد.

دراین مقاله پدیده اول یعنی واگرائی ومسائل حاصله درسازه های آبی با ذکریك مطالعه موردی درشبکه آبیاری گتوند مورد بحث قرارمی‌گیرد.

### ۱ـ ویژگیهای فیزیکو ـ شیمیائی خاکهای واگرا وسابقه شناخت آن

بطورکلی واگرائی پدیده‌ای است فیزیکو ـ شیمیائی که براثرآن ذرات خاك رس درمجاورت آب چسبندگی خود رااز دست داده و یکدیگر را دفع می‌نمایند به طوری که ذرات مذکوربصورت معلق درآب درآمده وبه سهولت و با انرژی بسیارکمی از محیط شسته می‌شوند.

البته لازم به تذکراست که درسیلت غیرچسبنده، آرد سنگ وماسه خیلی ریزکه اساسا " دارای چسبندگی بسیارکم یافاقد چسبندگی می‌باشند نیز این پدیده مشاهده می‌شود. اما ماهیت آن مکانیکی است و با پدیده واگرائی ناشی از وجود املاح درخاکهای رسی متفاوت می‌باشد. خاکهائی که پدیده واگرائی درآنها مشاهده می‌شود بطورکلی نسبت به آب حساس بوده وبه سهولت دچارفرسایش[1] وآب شستگی دورنی[2] می‌گردند.

پتانسیل واگرائی وفرسایش دریك خاك معین بستگی به عوامل متعددی ازجمله مینرالژی وشیمی خاك و نمکهای محلول درآب منفذی خاك و آب جاری مجاورآن دارد (۱۲). اینگونه خاکها حتی درمقایسه با خاکهای نرم غیرچسبنده مانند ماسه نرم براثرجریان آب با سرعت کم نیز به سرعت فرسایش می‌یابند. ذرات خاکهای رسی واگرا درآبهای راکد نیزاز خود واکنش نشان داده و ذراتی از خاك بصورت معلق درآب درمی‌آیند. فرسایش درخاکهای واگرا می‌تواند با نشت متمرکزدرداخل خاکریزها، منطقه اطراف خاك با نفوذ پذیری بالا، اطراف مجاری، اطراف سازه های بتنی مجاور، و درمنطقه تماس پی باسازه خاکی و یااز طریق ترك های ناشی از انقباض و خشك شدگی، ترکهای ناشی ازنشست نامتقارن ویاشکست هیدرولیکی آغازگردد.

ازنظرشیمیائی تفاوت بین رس های واگرا و غیر-واگرا درنوع کاتیونهای موجود درآب منفذی توده رس می‌باشد. رس های واگرا دارای مقدارزیادی کاتیون سدیم قابل تعویض و رس های معمولی دارای مقدار زیادتری کاتیون های کلسیم، پتاسیم و منیزیم می‌باشند (۱۳). علیرغم اینکه شناسائی رس های واگرا ازمدتها قبل توسط آگرونومیست ها ومتخصصین کشاورزی صورت گرفته است، اما شناسائی اهمیت آن درمهندسی سیویل سابقه چندان طولانی نداشته و اولین برخوردهای علمی و فنی به آن از دهه ۱۹۶۰ و پس از ایجاد تخریب و بروز مشکل درتعدادی سدخاکی کوچك دراسترالیا که عمدتا " به دلیل وجود این نوع خاك صورت گرفته، آغاز شده است (۴و۶). ازآن زمان به بعد فعالیت گسترده‌ای درزمینه‌شناسائی‌این نوع خاك ومربوط ساختن ویژه گی واگرائی به‌سایرخصوصیات خاك مانند طبقه بندی، دانه-بندی، حدودآتربرگ وغیره صورت گرفته‌که هیچیك از آنهاتاکنون به نتیجه‌رضایت بخشی‌نرسیده‌است(۱۴و۱۲).

تحقیقات قدیمی‌ترتشکیل خاکهای واگرا راعموما " به‌مناطق بااقلیمهای خشك ونیمه خشك منسوب می‌نمود. درسالهای اخیراین مسئله‌درمناطق بااقلیم مرطوب مانند استرالیا، تاسمانیا، مکزیك، ویتنام، تایلند، هندوستان برزیل، ونزوئلا وبسیاری‌ازمناطق جنوبی ایالات متحده نیز مشاهده شده است (۵).

ازنظرزمین شناسی خصوصیت واگرائی دررس های آبرفتی، نهشته های دریاچه‌ای، لس، نهشته های دشت های سیلابی ملاحظه گردیده است. دربعضی ازمناطق خاکهای رسی درجا، محصول هوازدگی سنگ رس و شیل رسوبگذاری شده درکف دریاها نیز دارای این خصوصیت بوده‌است. دربعضی از کشورهای آفریقائی و نیوزلند دررس حاصل از هوازدگی گرانیت، گرانودیوریت و ماسه-سنگ نیز واگرائی مشاهده شده است (۵ و۷).

## ۲ـ مسائل خاکهای واگرا درسازه های آبی

عمده ترین مسئله درخاکهای واگرا که بویژه در ارتباط با سازه های آبی تبلورمی‌یابد پدیده آب شستگی داخلی و مشکلات ناشی از آن می‌باشد. این پدیده دربسیاری از سدهای خاکی، خاکریزها، بستر

1- Erosion 2- Piping

کانالها و سایرسازه های آبی مستقرروی این نوع خاك مشاهده گردیده است۰

مسئله بطورکلی باحرکت کردن ومهاجرت ذرات رس واگرا درسطح تخلیه آب درپائین دست سازه خاکی یا درمحل اتصال به منطقه با نفوذ پذیری با لا آغاز شده وفرآیند فرسایش دردرون یا زیرسازه بصورت پیشرونده به سمت با لادست درجهت پتانسیل هیدرولیکی بیشتر ادامه می‌یابد تاآنکه مسیرفرسایش یافته به صورت یك تونل یا مجرا به منبع تغذیه متصل گردد۰ دراین مرحله درصورت وجود آب کافی درمنبع، جریان با شدت بسیار بیشتراز گذشته و به صورت متمرکز صورت گرفته و فرسایش با چنان شدتی دنبال می‌شود که ممکن است در مدت کوتاهی تخریب سازه را موجب گردد۰ لازم به تذکر است که این پدیده عینا " درخاکهای غیرچسبنده بسیار ریز مانند سیلت و ماسه خیلی نرم نیز مشاهده می‌شود که علت آن مکانیکی است درحالی که درخاکهای رسی واگرا پدیده فیزیکو- شیمیائی می‌باشد۰

درسدهای خاکی وخاکریزهائی که درتماس با آب هستند فرسایش باتمرکز جریان درنقطه‌ای از شیب پائین دست (که ممکن است به هردلیلی از جمله ترك یا شکاف ناشی از نشست یا انقباض ایجاد شده باشد) آغاز و به سمت با لادست ادامه یافته، پس از کامل شدن مجرا ، مفرجدیدی برای خروج آب و آب شستگی شدیدترایجاد می‌شود که نهایتا " تخریب سازه ها را موجب خواهد شد۰

درسازهای آبی دیگرمانند کانالهای انتقال آب، فرسایش درزیرپوشش یااز روی خاکریز بدنه کانال یا از محل سازه های زهکش سیستم آغاز وپس از پیشرفت، نهایتا " موجب تخریب پوشش وایجاد خسارات قابل ملاحظه می‌گردد۰ حالت اخیر درچندین مورد درایران ( ۲ و ۳ ) و درکشورهائی نظیرسوریه، عراق و شوروی ( ۱ ) مشاهده شده است۰

علاوه برموارد فوق، دربعضی از حالات ممکن است پدیده آب شستگی خاك واگرا از زیر یاازکنارسازه واز درون مصالح پی تحتانی یا جانبی آغاز گردد که البته موارد آن درمقایسه با سایرحالات بسیاراندك بوده‌است (۱۲)۰دراین حالت نیزخسارات حاصله ممکن است چشمگیر بوده و حتی به تخریب کلی سازه منجرگردد۰

## مواد وروشها

### ۱- روشهای شناسائی خاکهای واگرا و میزان واگرائی

از زمان شناسائی ویژگیهای خاك واگرا تا به امروز کوششهای فراوانی جهت تدوین روشهای آزمایشگاهی و صحرائی برای ارزیابی اینگونه خاکها به عمل آمده است۰ درمناطقی که سطح زمین دارای شیب نسبتا " تند است، شناسائی خاکهای واگرا بسیارآسان است چه در اینگونه مناطق براثربارندگی ها و فرسایش سریع، بریدگی های بسیارعمیق و مشخصی درسطح زمین حاصل می‌شود که مشخصه اصلی اینگونه خاکها می‌باشد۰ در مناطق مسطح و با شیب آرام این تشخیص به سادگی صورت نمی‌گیرد زیرا براثربارندگی ها ذرات رس واگرا شسته شده و لایه‌ای از ماسه لای دار یا لای ماسه‌ای در سطح زمین باقی می‌ماند که به صورت پوشش محافظی برای لایه های عمیق تر عمل می‌کند و درواقع درسطح زمین مشخصه بارز خاکهای واگرا که فرسایش وآب بریدگی های عمیق و سریع است به چشم نمی‌خوردو لذا عدم وجود این علامت مشخصه درسطح زمین به معنای عدم وجود خاك واگرا درمحل نمی‌باشد۰

از نظررنگ، رسهای واگرا می‌توانند به رنگهای قرمز، قهوه‌ای، زرد، خاکستری و یا ترکیبی از این

رنگهٔ باشند. خاکهای سیاه رنگ عمدتا " حاوی مواد آلی بوده و لذا عموما " واگرا نمی‌باشند (۱۵).

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که شناسائی کامل و دقیق خاکهای واگرا درصحرا و بدون انجام آزمایشهای آزمایشگاهی مخصوص عملا "مشکل یا غیرممکن است. به همین دلیل محققین زیادی سعی نموده‌اندتادراین‌مورد آزمایشهای مختلفی را مورداستفاده‌قراردهندکه دراین موردکوششهای سازمان SCS[1] ازهمه چشمگیرترمی‌باشد. لازم به تذکراست که تشخیص خاکهای واگرا با استفاده از نتایج طبقه بندی، دانه بندی یا حدود آتربرگ خاك امکان پذیرنبوده و لذا باید آزمایش های ویژه آن مورد استفاده قرارگیرند. آزمایشهائی که تا کنون بدین ـ منظورمورد استفاده قرار گرفته و نتایج خوبی داشته‌اند به شرح زیرمی‌باشند:

الف ـ آزمایش کرامب[2]

دراین‌آزمایش ساده‌که‌بنام آزمایش امرسون نیز مشهوراست(۸)، یك نمونه‌کوچك مکعبی شکل خاك به ضلع تقریبا "۱۵ میلیمترانتخاب وبه‌دقت دریك لیوان مدرج آب مقطربه حجم ۱۵۰سانتیمترمکعب قرار داده می‌شود(بهتراست که‌نمونه‌مذکوردررطوبت طبیعی باشد). نمونه مذکورتدریجا"شروع به جذب‌آب می‌نماید که پس ازآن تمایل ذرات کلوئیدی به جداشدن ازنمونه وشناور شدن درآب موردملاحظه‌وبررسی قرارمی‌گیرد. میزان‌جدا شدن ذرات کلوئیدی درزمانهای مختلف مورد مشاهده قرار گرفته و درنتیجه به ترتیب چهارنوع واکنش مورد ارزیابی قرارمی‌گیرد:

۱ـ بدون واکنش
۲ـ واکنش خفیف
۳ـ واکنش متوسط
۴ـ واکنش شدید

درواکنش های چهارگانه فوق شدت واگرائی به ترتیب افزایش یافته به طوری که درآخرین حالت (یعنی واکنش قوی) مقدار ذرات کلوئیدی معلق آنقدر زیاد است که آب درانتهای لیوان کاملا" رنگی می‌شود و هاله‌ای از ذرات کلوئیدی اطراف نمونه را کاملا" احاطه می‌نماید. تجربه نشان می‌دهد که بعضی از خاکهای واگرا ممکن است نسبت به این آزمایش واکنش نشان ندهند. لذا درصورتی که خاکی دراین آزمایش واکنش نشان دهد به احتمال زیاد واگرا است اما عدم واکنش به معنای غیرواگرا بودن خاك نخواهد بود.

ب ـ آزمایش هیدرومتر دوبل

این آزمایش که بنام آزمایش SCS نیز مشهور است اولین آزمایش ارزیابی خاکهای واگرا به شمار می‌رود که توسط فولك[3] درسال ۱۹۳۷ پیشنهاد شده‌است. دراین آزمایش دانه بندی خاك بدوا " توسط روش استانداردآزمایش هیدرومتری یعنی بااستفاده‌ازبهم زن مکانیکی ونیزماده شیمیائی پراکنده سازصورت گرفته و سپس روی نمونه مشابه یك آزمایش هیدرومتری دیگر و بدون استفاده‌ازبهم زن مکانیکی وماده شیمیائی پراکنده سازانجام می‌شود. مقداردرصد ذرات ریزتراز ۰/۰۰۵ میلیمتردرهردو آزمایش تعیین وسپس عددی بنام نسبت پراکندگی[4] که برابرنسبت درصد ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۵ میلیمتردرآزمایش دوم به آزمایش اول می‌باشد محاسبه می‌گردد. درصورتی که این نسبت بیشتراز ۵۰ درصد باشد خاك واگرا ودرصورتی که کمتراز ۳۰ درصد باشد خاك غیرواگرا طبقه بندی شده و بین این دوحالت بینابینی محسوب می‌گردد که باید با روشهای دیگر نتیجه را کنترل نمود.

---

1- Soil Conservation Service
2- Crumb Test
3- Volk
4- Percent Dispersion

ج ـ آزمایش پین هول[1]

دراین آزمایش که جهت اندازه گیری مستقیم فرسایش پذیری خاکهای ریز دانه ابداع شده است جریان آب تحت شیب هیدرولیکی معین ازطریق یک مجرای باریک که درداخل نمونه‌ای ازخاك باابعادمعین تعبیه شده عبورداده می‌شود و میزان فرسایش حاصله با توجه به رنگ آب خارج شده از نمونه و همچنین ابعاد مجرا پس از خاتمه آزمایش مورد ارزیابی قرارمی‌گیرد۰ نمونه خاك بصورت استوانه‌ای به قطر ۳۵ و طول ۲۵ میلیمتر بوده و جریان آب مقطر از داخل سوراخی به قطر یك میلیمتر و تحت بار ۵۰، ۱۸۰ و ۳۸۰ میلیمتر صورت گرفته و سپس میزان شفافیت آب خروجی ارزیابی می‌شود۰ شیب هیدرولیکی اعمال شده دراین آزمایش از ۲ تا ۱۵ و سرعت جریان از ۳۰ تا ۱۶۰ سانتیمتر درثانیه تغییرمی‌کند۰ جزئیات وسائل مورد نیاز برای انجام این آزمایش که توسط شرارد، طرح واجرا گردیده (۱۳) درشکل ۱ نشان داده شده است۰ لازم به تذکر است که این آزمایش باید روی نمونه خاك تحت رطوبت طبیعی صورت گیرد زیرا خشك شدن نمونه ممکن است دربسیاری از خاکها اثرات قابل ملاحظه‌ای روی نتایج حاصله داشته باشد۰

د ـ آزمایشات شیمیائی

دردهه ۱۹۶۰ محققین استرالیائی(۹و۱۰)وجود سدیم قابل تعویض را درخاك به عنوان عامل شیمیائی اصلی درواگرائی خاکهای رسی ارزیابی نموده و بر همین‌اساس معیارهای شیمیائی معینی جهت شناسائی خصوصیت واگرائی ارائه‌دادند۰ این معیارهاعبارتند از رقمESP[2](درصدسدیم قابل تعویض)، SAR[3](نسبت سدیم قابل جذب) وPS[4](نسبت سدیم به کل املاح محلول)۰ هریك ازاین پارامترهاطبق روابط زیرمحاسبه می‌گردند:

$$ESP = \frac{\text{سدیم قابل تعویض}}{\text{CEC (ظرفیت تبادل یونی)}} \times ۱۰۰$$

(واحدهابرحسب میلی اکوئی وا لان در ۱۰۰ گرم)

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{۰/۵\ (Ca^{++} + Mg^{++})}}$$

(واحدها برحسب میلی اکوئی وا لان درلیتر)

$$PS = \frac{Na^{+}(۱۰۰)}{TDS}$$

$$TDS = Na^{+} + Ca^{++} + Mg^{++} + K^{+}$$

(کلیه واحدها برحسب میلی اکوئی وا لان درلیتر)

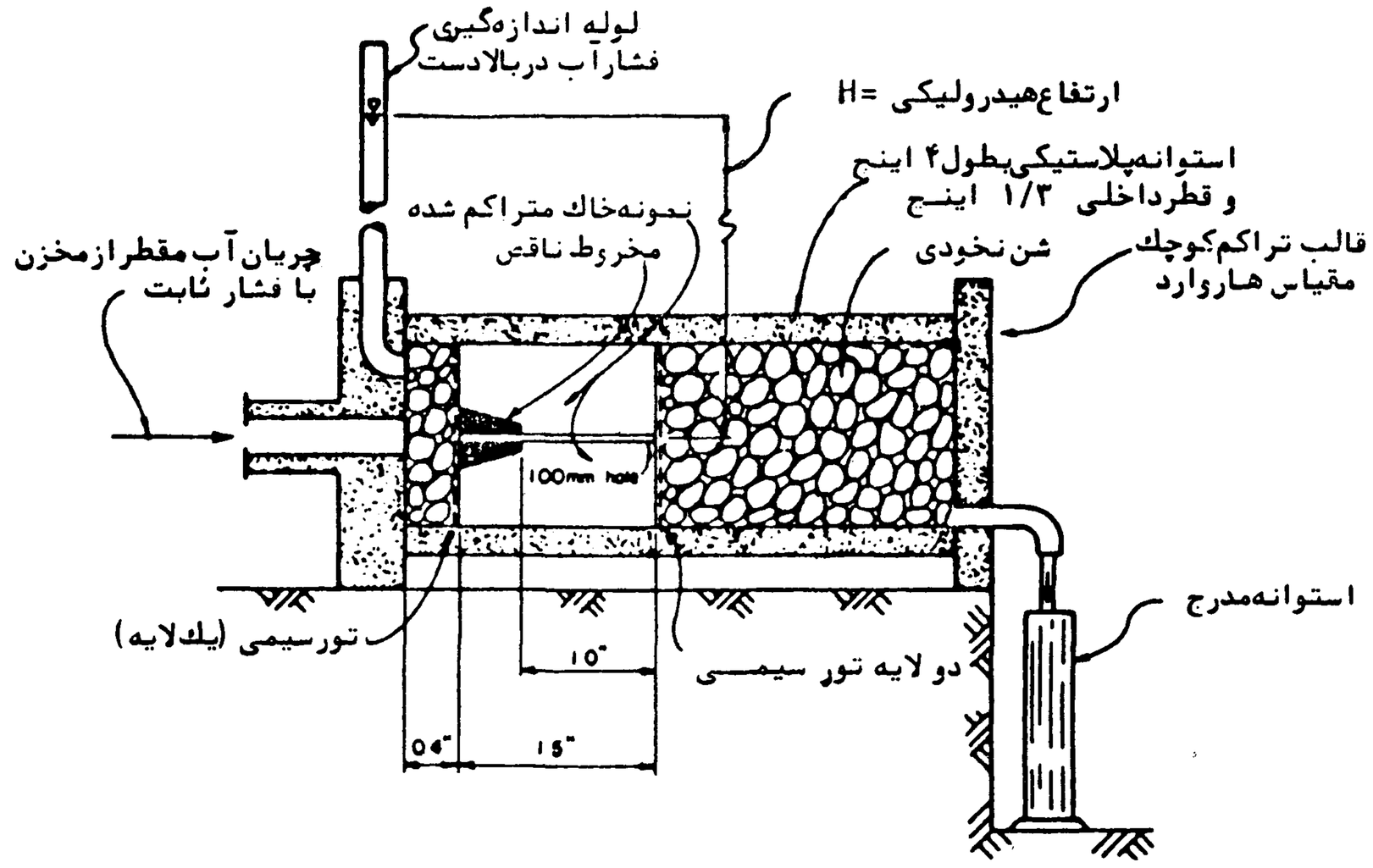
طبق تحقیقات انجام شده درخاکهای واگرا ESP > ۱۰ و SAR > ۲ است (برای خاکهائی که TDS آنها بین ۰/۵ تا ۳ میلی اکوئی وا لان درلیتر باشد)۰ شرارد (۱۴) بااستفاده از این معیارهای شیمیائی و براساس انجام تعداد زیادی آزمایش مستقیم واگرائی روی انواع خاك رس و با تلفیق نتایج این دو روش توانست دیاگرامی تهیه نماید که براساس آن خاکهای مختلف برحسب میزان واگرائی به چند گروه تقسیم می‌گردند (شکل ۲)۰ همانطورکه دراین شکل ملاحظه می‌شود دیاگرام تغییرات PS برحسب TDS به سه منطقه تقسیم گردیده که منطقه (A) نشاندهنده خاکهای‌واگرا، منطقه(B) نشاندهنده خاکهای غیر-واگراو منطقه (C) قسمت بینابین می‌باشد۰

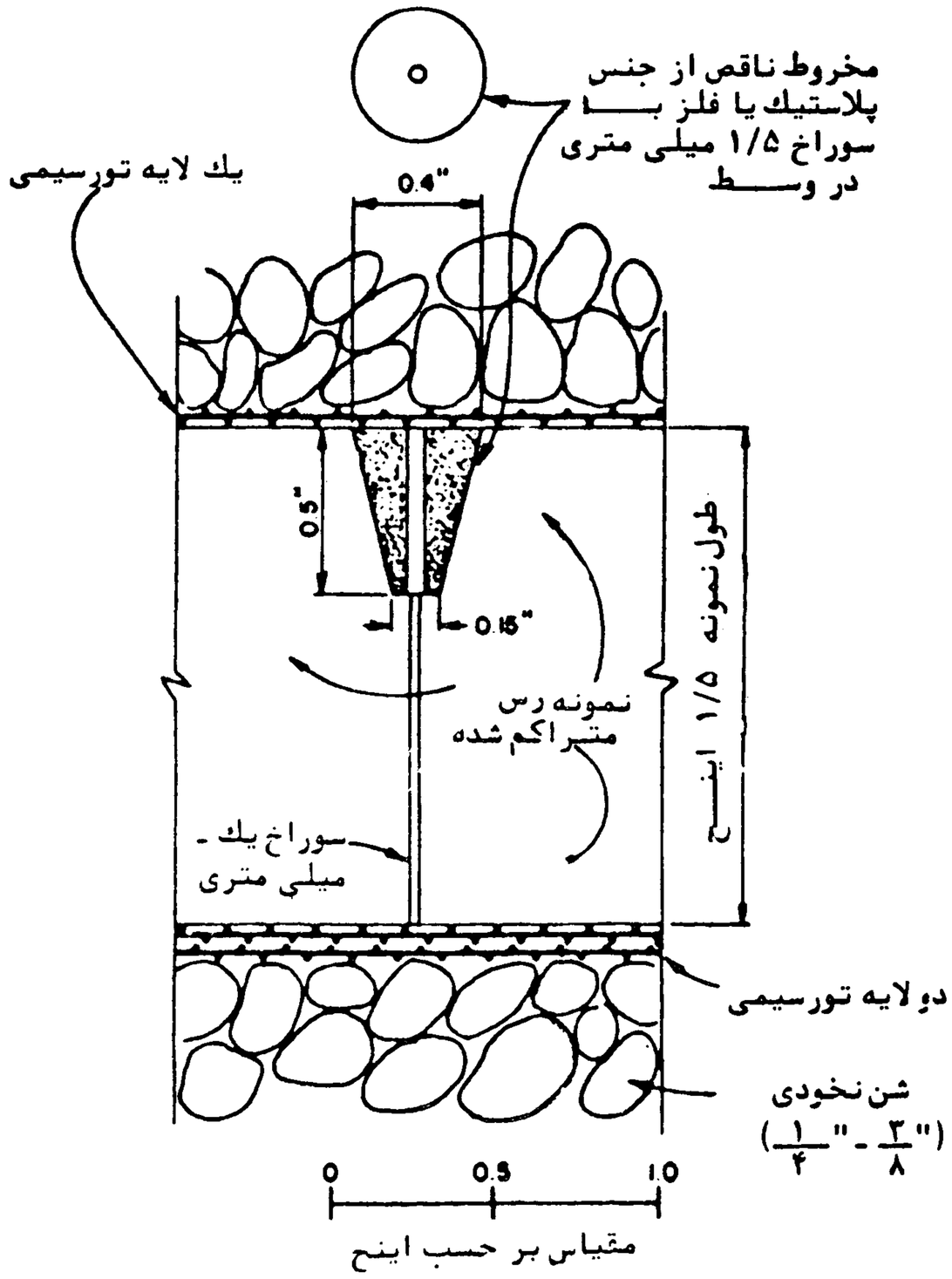
**۲ـ مطالعه موردی ـ مسائل واگرائی خاك درشبکه آبیاری گتوند**

۲ـ۱ـ آشنائی با شبکه آبیاری گتوند

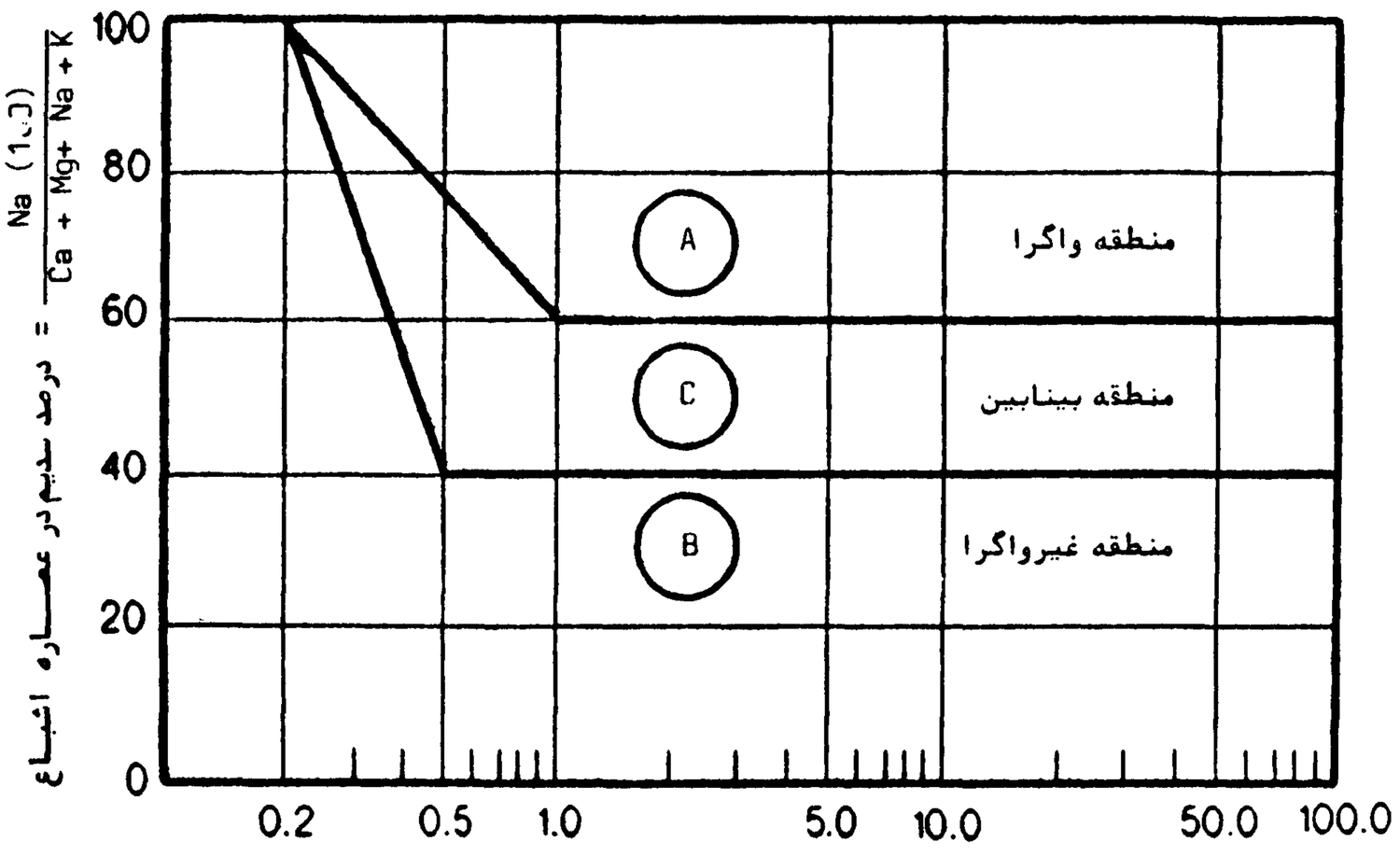
طرح آبیاری گتوند، واقع درشمال خوزستان،

1-Pinhole Test 2-Exchangeable Sodium percent 3-Sodium Adbsorption Ratio
4-Percent Sodium




شکل ۱ـ دستگاه آزمایش پین هول




شکل ۲ـ تقسیم بندی خاکهای واگرا وغیرواگرا برحسب مقدارسدیم و کل املاح محلول

مشتمل برسه ناحیه عقیلی، گتوند و دیمچه می‌باشد۰ وسعت کل اراضی زیرپوشش این طرح بالغ بر ۴۳۰۰۰ هکتاراست که قسمت اعظم آن درناحیه دیمچه وزیرکشت نیشکر قراردارد۰ سد انحرافی گتوند، واقع‌در ۲۵ کیلو- متری شمال شهرستان شوشتر، جریان رودخانه کارون را تنظیم و از طریق دورشته کانال اصلی عقیلی و گتوند به داخل محدوده طرح هدایت می‌نماید۰ کانالهای اصلی طرح تدریجا" ازسال ۱۳۵۵ به بعد آب اندازی شده و مورد بهره برداری قرار گرفته‌اند۰

این طرح توسط مهندسین مشاور هارزا مطالعه و گزارش های مقدماتی ونهائی آن به ترتیب درسالهای ۱۳۴۶ و ۱۳۴۷ ارائه و اسناد مناقصه آن درسال ۱۳۵۲ منتشرگردید۰ پس از تکمیل عملیات ساختمانی بعضی از قسمتهای شبکه، بهره برداری درناحیه دیمچه در مرداد ۱۳۵۵ آغاز شد، که ازهمان آغاز بهره برداری تدریجا" مشکلاتی درارتباط با پوشش شبکه پدیدار گردید (۳)۰

## ۲ـ ۲ـ مسائل پوشش شبکه آبیاری گتوند

طبق گزارشات بدست آمده اولین علائم بروز خسارت و ایجاد مسئله درفروردین ماه ۱۳۵۴ و هنگامی مشاهده گردید که بارندگی شدیدي درمنطقه به وقوع می‌پیوندد۰ شدت این بارندگی ۵۴ میلیمتر درطی ۲۴ ساعت گزارش شده است۰ بازرسی کانالها (که دراین زمان هنوز پوشش نشده بودند) پس از بارندگی ایجاد خسارات قابل توجهی را نشان می‌دهد۰ این خسارات عموما" به صورت آب شستگی های کاملا" عریض و عمیق درروی خاکریز بدنه کانال ها بوده است۰ عرض شکافهای حاصل از فرسایش به اندازه‌ای بوده که یك انسان به راحتی می‌توانسته درآن داخل شود۰ علاوه برفرسایش سطحی، مقادیر زیادی نیز فرسایش یا آب شستگی درون خاك به صورت آب شستگی درونی وحفره فرسایشی نیزمشاهده وگزارش شده است۰

درآن زمان این مسئله چندان حدی تلقی نشد و پس از رفع معایب ایجاد شده، بدون بررسی عمیق ترمسئله.

عملیات اجرائی طبق برنامه وضوابط قبلی دنبال و کانال ها پوشش کردید. پس ازاتمام پوشش، کانال ها مدت ۲ ماه مورد بهره برداری قرار می‌گیرند (تابستان ۱۳۵۵). دراین مدت دو ماه چنان خسارات قابل ملاحظه‌ای درکانالها ایجاد می‌شود، که اجبارا " جریان آب قطع و چاره جوئی درمقابل مسئله آغاز می‌گردد. این چاره‌جوئی عمدتا "به صورت عملیات تعمیراتی قسمتهای خسارت دیده می‌باشد که بدوا "توسط پیمانکارطرح و سپس توسط کارفرماصورت گرفته وازآن زمان به بعد تاکنون هرساله ادامه داشته‌است. عملیات تعمیری مذکور عموما " به صورت تعویض قطعات بتنی پوشش کانالها، یا شخم زدن و کوبیدن مجدد سطح جاده سرویس یاخاکریز بدنه کانال درقسمتهای خسارت دیده بوده است.

نوع خرابی ها وعلل ظاهری آن را می‌توان کلا" به صورت زیردسته بندی نمود:

- ایجادترك، شکاف یاحفره‌باوسعتهای مختلف در پوشش کف کانالهابه واسطه نشست بسترزیرکف.
- ایجادترك وشکاف درپوشش بتنی جدارکانالها بواسط نشست یاجابجائی توده‌خاك دیواره‌کانال ها ونیز لغزش قسمتی ازپوشش بتنی یادیواره های جانبی.
- طبله کردن پوشش جدارکانال به واسطه لغزش و ناپایداری سطح شیبدارجدارکانال.
- ایجاد حفره ناشی از فرسایش درونی وآب شستگی ذرات خاك درپشت پوشش بتنی جداریاکف‌کانال، که‌بالطبع درنهایت منجربه‌شکستن پوشش گردیده‌است.
- ایجاد شکاف درسطح جاده های سرویس و خاکریز جدارکانال به واسطه لغزش شیب یا نشست پی خاکریز.
- ایجاد آب شستگی و فرسایش دراطراف یا زیر تاسیسات جنبی شبکه مانند پلها، دهانه های آبگیر، زهکش ها و غیره. نمونه هائی از این خرابی ها در شکلهای شماره ۵ الی ۱۰ نشان داده شده است.

۲-۳- بررسی علل خرابی ها

درمورد علل خرابی های حاصله نظرات کاملا" مختلفی ارائه گردیده که می‌توان آنها را به سه دسته زیرتقسیم نمود:

- ضعف عملیات ساختمانی وعدم تراکم خاکریزها به میزان کافی.
- وجودمقادیرزیادگچ‌درخاك‌وشسته‌شدن آن توسط‌آب.
- ناکافی بودن سیستم زهکش تاسیسات.

دربررسیهائی که نتایج آن دراین مقاله ارائه گردیده، ضمن ارزیابی هر یك از عوامل فوق الذکر و میزان تاثیرآنها درشدت خسارات حاصله، مسئله واگرائی خاك منطقه به علت وجود املاح مختلف مورد ارزیابی قرارگرفته وبا انجام آزمایشات مربوطه نشان داده شده است که عامل اصلی ایجاد این خسارات در واقع‌مسئله واگرائی است که به خصوصیات فیزیکو- شیمیائی خاك منطقه مربوط می‌شود. دراین ارتباط تعداد زیادی نمونه از خاك منطقه (بخصوص ازمنابع قرضه مورد استفاده درساخت خاکریز کانالها ونیزاز خاك طبیعی حوالی مناطق خسارت دیده) تهیه و مورد آزمایشهای مختلف ژئوتکنیکی از جمله آزمایشات واگرائی (مندرج درقسمت ۱) و نیز آزمایشات شیمیائی قرارگرفت که نتایج آن درقسمت زیرارائه شده است.

۲- ۴- نتایج بررسیهای آزمایشگاهی

الف - آزمایشهای شناسائی: آزمایشهای شناسائی شامل دانه بندی، حدود آتربرگ و طبقه بندی روی تعداد زیادی ازنمونه هاانجام گردید ونتایج حاصله نشان دادکه خاك منطقه کلا" از نوع رسوبات آبرفتی ریز دانه از جنس رس لای دار (CL) ویا لای رس دار (ML) همراه با مقدارکمی ماسه و مقدارقابل ملاحظه‌ای املاح مختلف

ازجمله کلرورسدیم و گچ می‌باشد۰

مقداراریزدانه خاك (ریزتراز الك شماره ۲۰۰) بطور متوسط درحدود ۸۰ ـ ۹۰ درصد است که درحدود ۱۰ تا ۳۰ درصد آن رس و بقیه سیلت می‌باشد۰ حدود منحنی دانه بندی نمونه‌های مورد آزمایش درشکل (۳) مشخص گردیده است۰ درروی همین شکل حدود منحنی دانه بندی خاکهای حساس به ترك خوردگی ناشی از خشك شدن و انقباض که توسط شرارد تهیه شده(۱۱) برای مقایسه نشان داده شده است۰ همانگونه که دراین شکل ملاحظه می‌شوددانه بندی خاکهای منطقه با حد بالای حدود دانه بندی تعیین شده برای خاکهای حساس به ترك‌ـ خوردگی انطباق دارد۰

ب ـ آزمایش تعیین نوع کانی ها : این آزمایش بر روی ۴ نمونه منتخب ازخاك منطقه وبااستفاده‌ازسیستم تجزیه‌به‌کمك اشعه‌ایکس[1] صورت گرفته است که نتایج آن درجدول شماره ۱ منعکس می‌باشد۰ این جدول نشان می‌دهد که کانیهای اصلی موجوددرخاك به ترتیب عبارتند از : کلسیت، کوارتز، ژیپس، فلدسپات ، دولومیت، ایلیت، کلریت وهماتیت ۰

ج ـ آزمایشات نفوذپذیری: به منظوراندازه‌گیری نفوذ پذیری وارزیابی تغییرات آن دردرازمدت (پس از جریان یافتن مقدارزیادی آب درخاك) تعدادی نمونه به صورت دست خورده مورد آزمایش نفوذپذیری تحت بارهیدرولیکی ثابت و متغیربا ارتفاع معادل حداکثر عمق آب درکانالهای اصلی مورد آزمایش قرارگرفت۰ نتایج حاصله مقدارنفوذپذیری خاك منطقه را درحدود $۲ \times ۱۰^{-۶}$ سانتیمتر درثانیه نشان می‌دهد که باگذشت حدود ۴ ماه ازشروع آزمایش تغییرمحسوس نیافته‌است۰

د ـ آزمایشات شیمیائی : به منظورتعیین مقدار کاتیون های موجود درخاك، آزمایشات شیمیائی متعددی روی نمونه‌های مختلف انجام وکاتیون های چهارگانه Na ، Ca ، Mg و K و همچنین EC و PH خاکهاتعیین گردید۰ مقدار PH نمونه های خاك درحدود ۷/۵ الی ۷/۹ و مقدارEC بین۱۲ الی ۲۵ میلی موس برسانتیمتر بدست‌آمده‌که‌مشخص کننده‌شوری فوق‌العاده‌خاك می‌باشد

براساس نتایج حاصله از اندازه گیری مقدار کاتیونهای فلزی چهارگانه، تغییرات PS برحسب TDS روی دیاگرام واگرائی شرارد ترسیم و درشکل ۴ نشان داده شده است۰ همانطور که دراین شکل ملاحظه می‌شود، تقریبا " قسمت اعظم نمونه هادرمنطقه (A) که نشان دهنده خاکهای واگراست قرارگرفته وفقط تعداد اندکی از نمونه ها درمنطقه (C) ویك نمونه درمنطقه (B) (غیرواگرا) قرار گرفته است۰

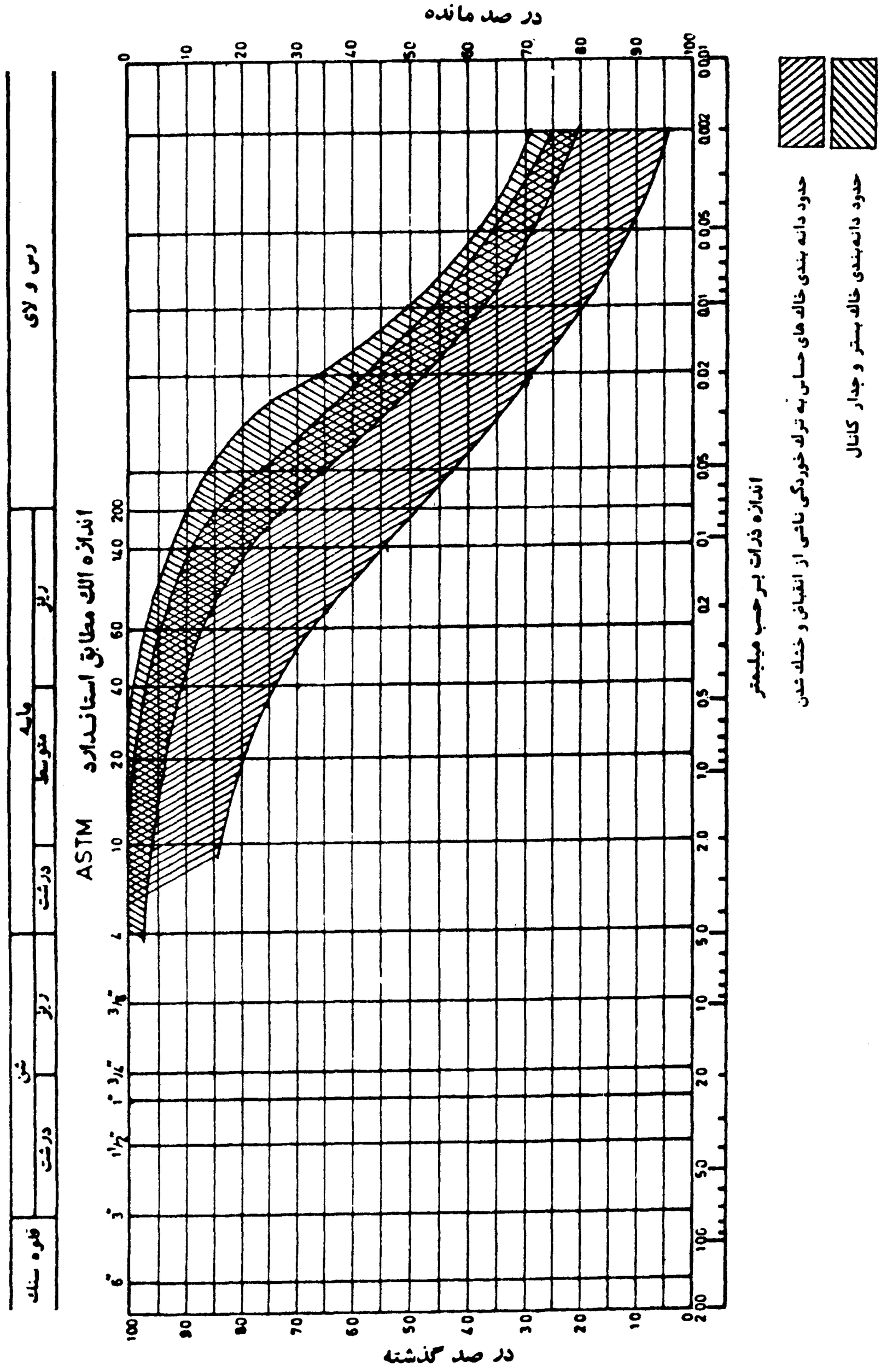
هـ ـ آزمایشات واگرائی : آزمایشات واگرائی با سه روش پین هول، کرامب و هیدرومتر دوبل برروی کلیه نمونه ها انجام گردید۰ نتایج این سه گروه آزمایش در جدول شماره ۲ درج گردیده است۰ لازم به تذکراست که این سه آزمایش با روشهای استاندارد توصیه شده توسط SCS و USBR انجام گردیده ونتایج حاصله نیزبراساس معیارهای این دوموسسه تفسیرگردیده‌اند۰

و ـ سایرآزمایشات : علاوه برآزمایشات مورد نیاز این بررسی، آزمایشات دیگری نیزجهت ارزیابی خصوصیات مقاومتی، تراکم پذیری و نشست نمونه ها انجام گردید که نتایج آنها به دلیل نداشتن ارتباط مستقیم باموضوع موردبحث دراین مقاله‌آورده‌نشده‌است۰

## نتایج و بحث

**۱ـ ارزیابی کلی مسئله:** همانطورکه مجموعه نتایج

1- X-Ray Diffraction




شکل ۳ - حدود منحنی های دانه بندی

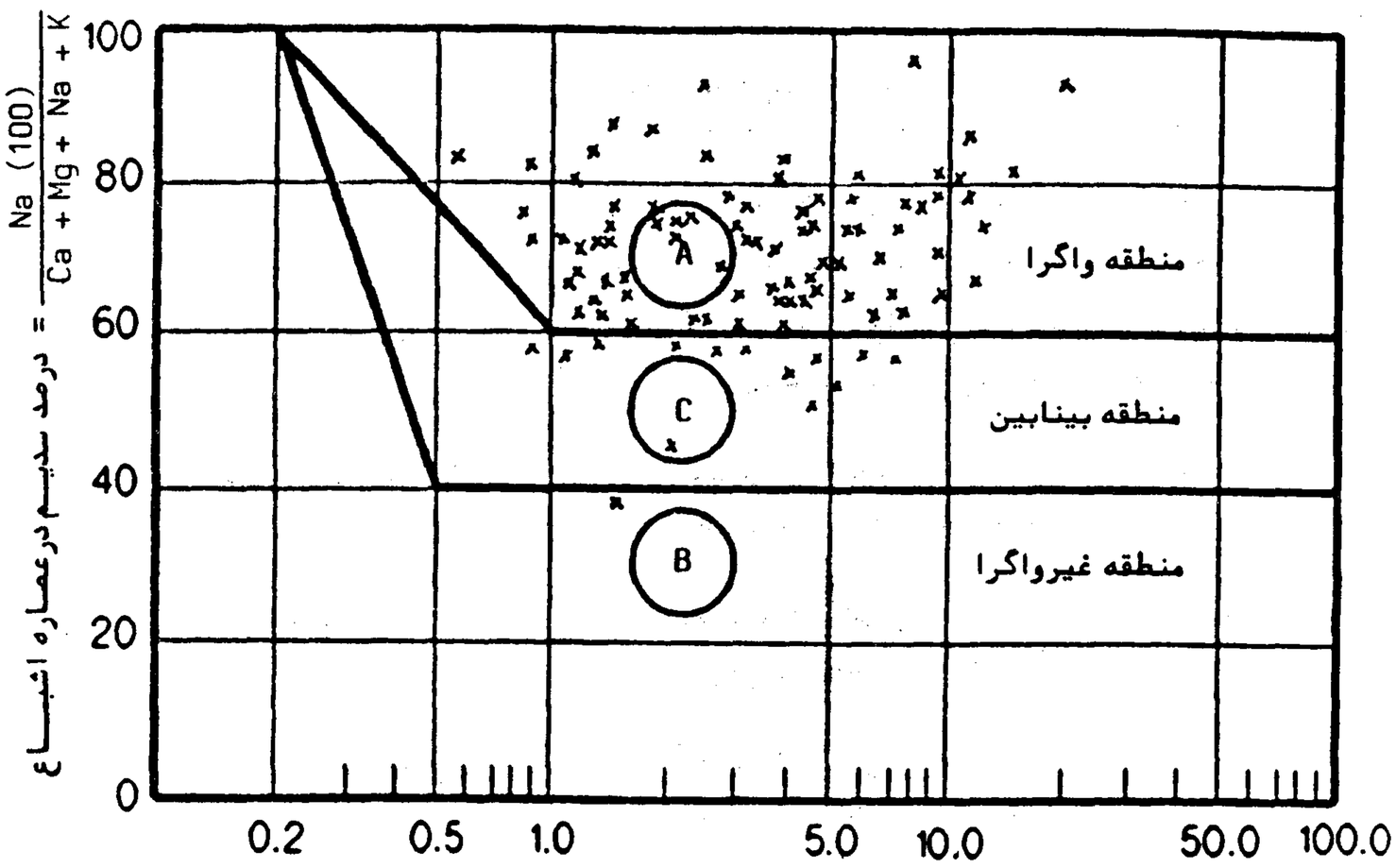
جدول ۱ـ کانی های موجود درخاك

| شماره ردیف | محل نمونه برداری | عمق (متر) | کانی های موجود در خاك بترتیب اهمیت |
|---|---|---|---|
| ۱ | کانال دیمچه شرقی کیلومتر۶ | ۲-۱ | کلسیت ـ کوارتز ـ ژیپس ـ فلدسپات ـ دولومیت ـ ایلیت ـ کلریت ـ هماتیت ۰ |
| ۲ | کانال دیمچه غربی ،کیلومتر ۲ | ۲-۱ | کلسیت ـ کوارتز ـ ژیپس ـ دولومیت ـ ایلیت ـ کلریت ـ فلد سپات ـ هماتیت ۰ |
| ۳ | کانال نبی ، کیلومتر ۱ | ۲-۱ | کلسیت ـ کوارتز ـ ژیپس ـ دولومیت ـ فلد سپات ـ ژیپس ـ ایلیت ـ کلر یت ـ هماتیت ۰ |
| ۴ | کانال دیمچه شرقی کیلومتر۶ | ۱-۰ | کلسیت ـ کوارتز ـ ژیپس ـ دولومیت ـ فلد سپات ـ ایلیت ـ کلریت ـ هماتیت ۰ |

آزمایشات وبررسیهای انجام شده نشان می‌دهد، خاك منطقه خاکی است ریزدانه‌ازنوع رس سیلتی وسیلت رسی که‌ازنظرزمین شناسی به‌علت تشکیل درمنطقه مجاور با تشکیلات گچساران حاوی مقدارزیادی املاح به ویژه کلرورسدیم، سولفات کلسیم و املاح دیگرمی‌باشد۰ مجموعه خصوصیات فیزیکو ـ شیمیائی باعث گردیده است که خاك منطقه او لا" به دلیل نوع دانه بندی حساس به ترك خوردگی ناشی از خشك شدن بوده‌وثانیا" به دلیل نوع وترکیب کاتیونهای موجود درآن(همانگونه که نتایج آزمایشهای مختلف نشان داده است) از نوع واگرا وحساس به پدیده فرسایش درونی باشد۰ تلفیق این دوخصوصیت بایکدیگرباعث می‌شودکه این نوع خاك در مجاورت آب بسیارناپایداربوده‌وچنانچه سازه‌ای روی آن قرار گیردبا مشکلات عدیده‌ای مواجه شود که منشاء بخش اعظم این مشکلات درارتباط با پدیده واگرائی می‌باشد۰

درطرح مورد بررسی نیزعامل اصلی واولیه بروز مشکلات همین خصوصیت بوده‌است۰ خاك منطقه به علت خصوصیات فیزیکی خود نسبت به ترك خوردگی حساس بوده وبا تبخیرشدید رطوبت (به خصوص درفصل خشك) شبکه ترك خوردگی قابل ملاحظه‌ای روی سطح آن پدیدار می‌شود که این ترکها منشاء اولیه آغاز فرسایش بعدی می‌باشند ودرواقع جریانهای سطحی (ناشی ازبارندگی یا جریان آب درکانال) می‌تواند ازطریق این شبکه ترك ـ خوردگی فرسایش سریع خاك را موجب شده ونهایتا" در صورت وجود مفرّی برای خروج ذرات رس واگرای معلق، ناپایداری توده خاك را باعث گردد۰ این همان فرآیندی است که درتابستان سال ۱۳۵۴ و به هنگام اجرای عملیات ساختمانی و براثریك بارندگی شدید رخ داد وآب شستگی‌های عمیقی را روی خاکریز کانالها موجب شد ۰

پس از آغاز بهره برداری ازکانالهانیز، آب از طریق سیستم درزهای ساختمانی و درز انقباض وانبساط پوشش بتنی و نیز ازطریق ترکهای ناشی ازانقباض و خشك شدگی سطح خاکریزها وارد توده خاك شده و به دلیل واگرائی، ذرات خاك به سرعت ازمحل خود شسته وخسارات مختلفی را به شبکه وارد ساخته است۰ همانطورکه قبلا" نیز ذکرگردید عامل اصلی این خسارات آب شستگی ناشی از واگرائی است که با




**شکل ۴ـ تعیین خصوصیت واگرائی منطقه کانال های شبکه گتوند برحسب میزان سدیم و کل املاح محلول**

نمودهای مختلف ظاهرگشته است۰

نفوذ آب به زیرپوشش بتنی کف و جدارکانال تدریجا" موجب شسته شدن ذرات خاك وخالی شدن بستر زیرپوشش گردیده است۰ باتوجه به مقّرمناسب برای خروج ذرات شسته شده خاك (شبکه درزها)، این پدیده بتدریج پیشرفت نموده ودرنهایت منجربه نشست نامتجانس پوشش بتنی، ترك خوردن و تخریب آن می‌گردد۰

همزمان با این پدیده، که عموما" درکف کانال و بعضا" درجدارها اتفاق افتاده است، آبهای سطحی ناشی از بارندگی ها از طریق ترکهای موجود درسطح فوقانی خاکریز کانال به داخل جسم خاکریز راه یافته و تدریجا" موجب اشباع و سست شدن ذرات خاك گردیده است۰ این امرخود عامل کاهش مقاومت برشی و لغزش توده خاك جداربه سمت کانال واعمال فشارجانبی شدید (همراه با فشارهیدرواستاتیك آبهای نفوذی) برپوشش بتنی کانال بوده است۰ این پدیده درنهایت موجب لغزش سطح شیبدارخاکریز، شکاف برداشتن آن درمجاورت لبه کانال وبه موازات آن، وجابجائی یا طبله کردن پوشش بتنی شده است۰ بالطبع پس ازآغاز جابجائی مذکور، مسیرعبورآب از پشت پوشش کانال تسهیل گشته واین امرخود موجب تسریع آب شستگی و فرسایش بیشترخاك درزیرپوشش بتنی جدار می‌گردد۰ در تائید این امربه هنگام عملیات تعمیراتی وتعویض قطعات پوشش کف ملاحظه شده که درسطح بسترفقط مقداری دانه های درشت شن وجود دارد که نشان دهنده شستشه شن ذرات ریزتراز بستربوده است۰

علاوه برعوارض فوق تعداد زیادی حفرات فرسایشی (Sinkholes) ونیز مقدارزیادی فرسایش دراطراف سازه های جنبی شبکه بخصوص دردهانه خروجی زهکشها تحتانی شبکه مشاهده گردیده است که تماما" مرتبط با خصوصیت واگرائی خاك قرضه مورد استفاده می‌باشد۰

**۲ـ روشهای مقابله با واگرائی**

با توجه به مطالب تشریح شده درقسمتهای قبل، بدیهی است که حل قطعی مسئله تنها وقتی میسراست که عامل اصلی ایجاد خسارات که همان پدیده واگرائی

جدول ۲ـ نتایج آزمایشات واگرائی

| نوع آزمایش | درصد کل نمونه ها | | |
|---|---|---|---|
| | نمونه های واگرا | نمونه های غیر واگرا | نمونه های بینابین |
| Pin Hole Test | ۸۰ | ـــ | ۲۰ |
| Crumb ۰Test | ۶۵ | ۱۰ | ۲۵ |
| Double Hydrometer Test | ۷۰ | ۱۳ | ۱۷ |

خاك بسترمی‌باشداز میان برداشته شود۰ با توجه بـــه اینکه ایـن خصوصیت جنبه فیزیکو۔ شیمیائی داردراین صورت راه حل مشکل اصلاح خاك با افزودن مواد کمکی به خاك جهت خنثی کردن خصوصیت واگرائی می‌باشد۰ طبق تجربیات گذشته مواد کمکی مورد مصرف باید به یکـی از دو صورت زیرعمل نمایند :

۱ـ جایگزین کردن کاتیونی با ظرفیت با لاتربجـــای کاتیون سدیم درخاك ۰

۲ـ ایجاد چسبندگی مصنوعی درخاك ۰

از جمله موادی که درگروه اول قرارمی‌گیرنـــــد می‌توان آهك، سولفات آلومینیم یا سایراملاح مشابه را نام برد۰ درهمین زمینه طبق تجربیات گذشته افزایـــش شیرآهك $Ca(OH)_2$ به میزان ۱٪ الی ۴٪ وافزایـــش سولفات آلومینیم به میزان ۰/۱ الی ۰/۶ درصد وزنـــی می‌تواند به سهولت خاك واگرا را به غیرواگرا تبدیـل نماید۰

درگروه دوم موادی مانند سیمان، قیر وانـــواع رزین‌ها و چسب های شیمیائی قراردارند که به دلیـــل هزینه بسیارزیاد دراین طرح مورد استفاده قـــــرار نگرفتند۰ باتوجه به این تجربیات تعدادی از نمونه‌های خاك منطقه با درصدهای مختلف آهك (۱ الی ۶ درصـد) و درصدهای مختلف سولفات آلومینیوم (۰/۱ الی ۲درصد) مخلوط و پس از تراکم تحت رطوبت مناسب مـــــورد آزمایش مستقیم واگرائی (آزمایش Pinhole ) قرار گرفتند۰ این سری از آزمایشات نشان داده که افزایـــش حدود ۳ درصد آهك و ۰/۶ درصد سولفات آلومینیم خاك را بطور کامل به حالت غیرواگرا تبدیل می‌نمایدو لـذا چنانچه دراستفاده از این خاك درمنطقه از موادمذکور به میزان توصیه شده استفاده شود درآینده مشکلـی در ارتباط با واگرائی بوجود نخواهد آمد۰

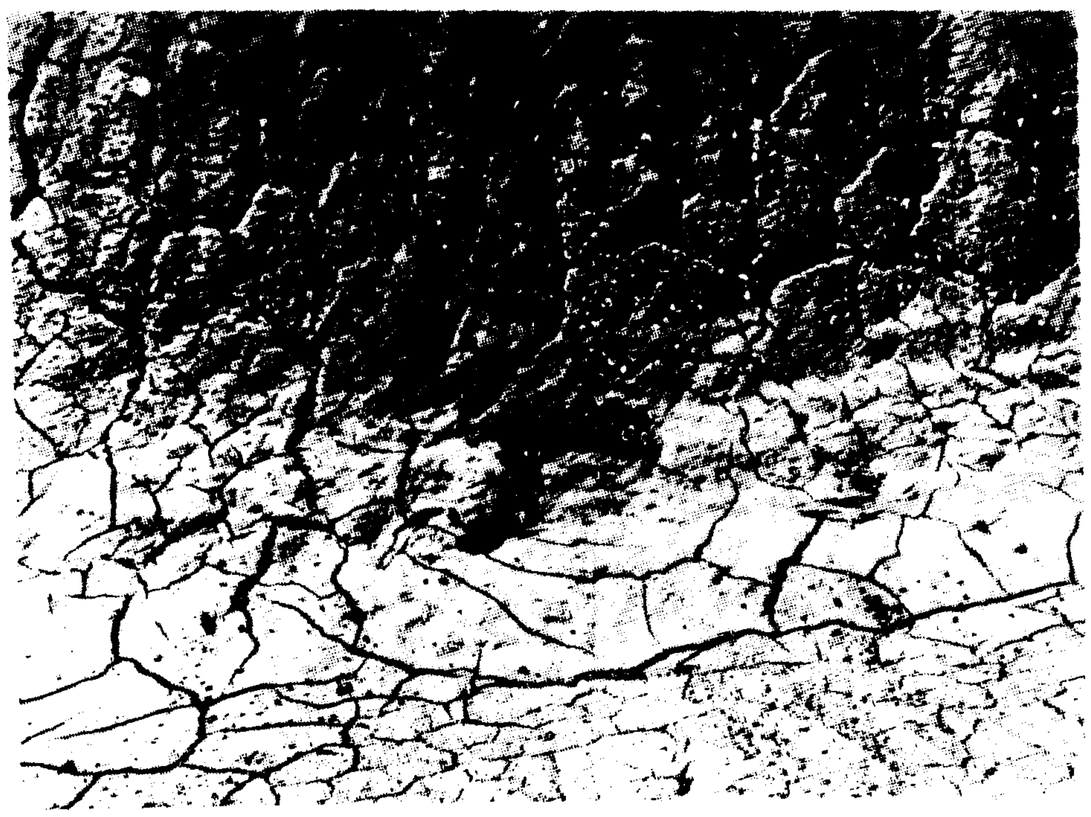
## ۳ـ نتیجه گیـــری:

براساس مطالعات انجام شده و بررسی هـــــای به عمل آمده دراین تحقیق نتایج زیربدست آمده است:

- یکی از مشکلات اساسی سازه های آبی درخاکهای شور وگچی، ایجاد پدیده واگرائی به عنوان عاملی درجهت ناپایداری خاك می‌باشد۰
- وجود کاتیون سدیم و میزان نسبی آن درنمکهـای موجود درخاك علت اصلی واگرائی خاکهـــــا می‌باشد۰
- روش آزمایش مستقیم واگرائی (پین‌هول) و روش تجزیه شیمیائی و تعیین نسبت PS و TDS می‌توا ند به‌عنوان دوراه مطمئن وسریع جهت تشخیص میزان واگرائی خاکها مورداستفاده قرارگیرد۰
- وجود خاك واگرا درتماس با سازه های آبی همواره می‌تواندخطرشسته‌شدن وفرسایش درونی خـــاك و ناپایداری و تخریب سازه را به همراه داشتهباشد۰

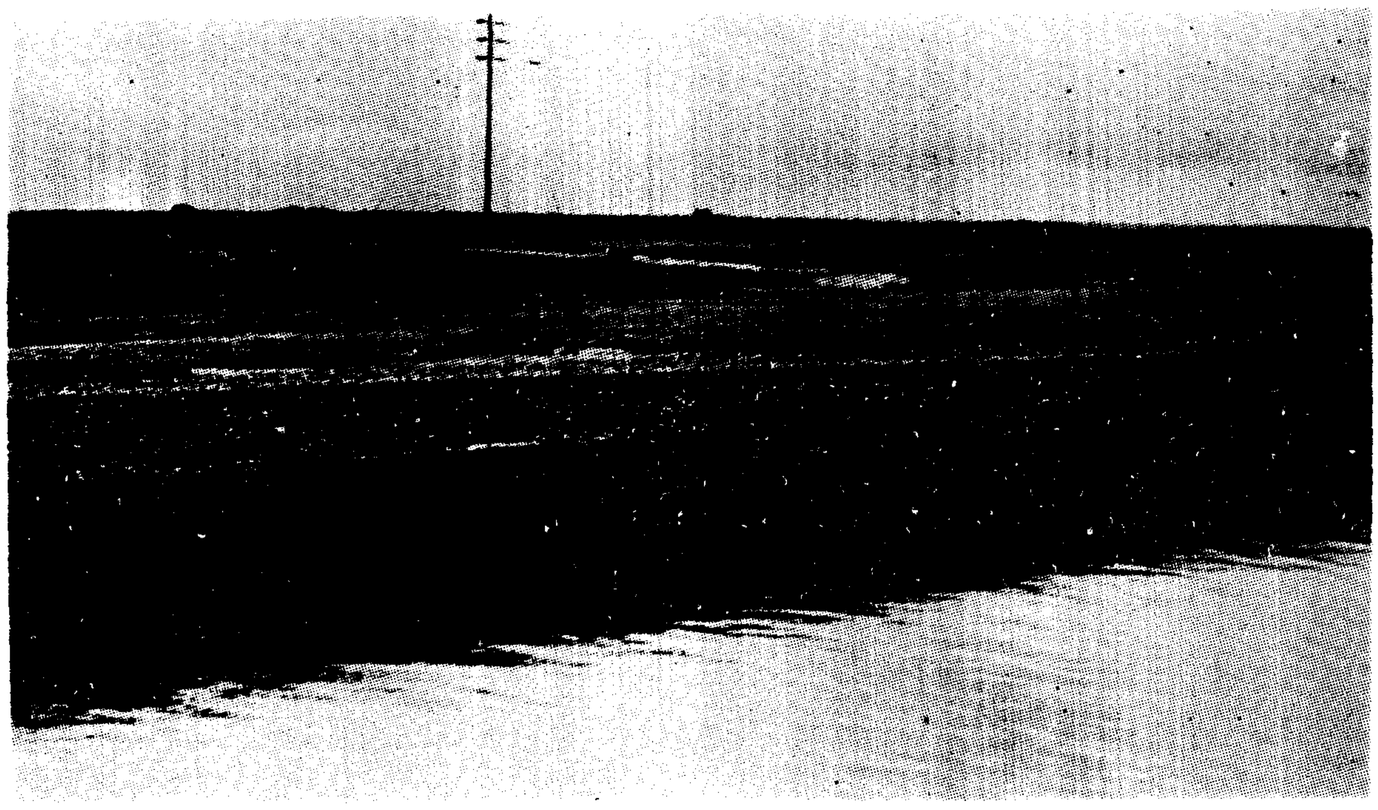
شکل ۵

شکل ۶

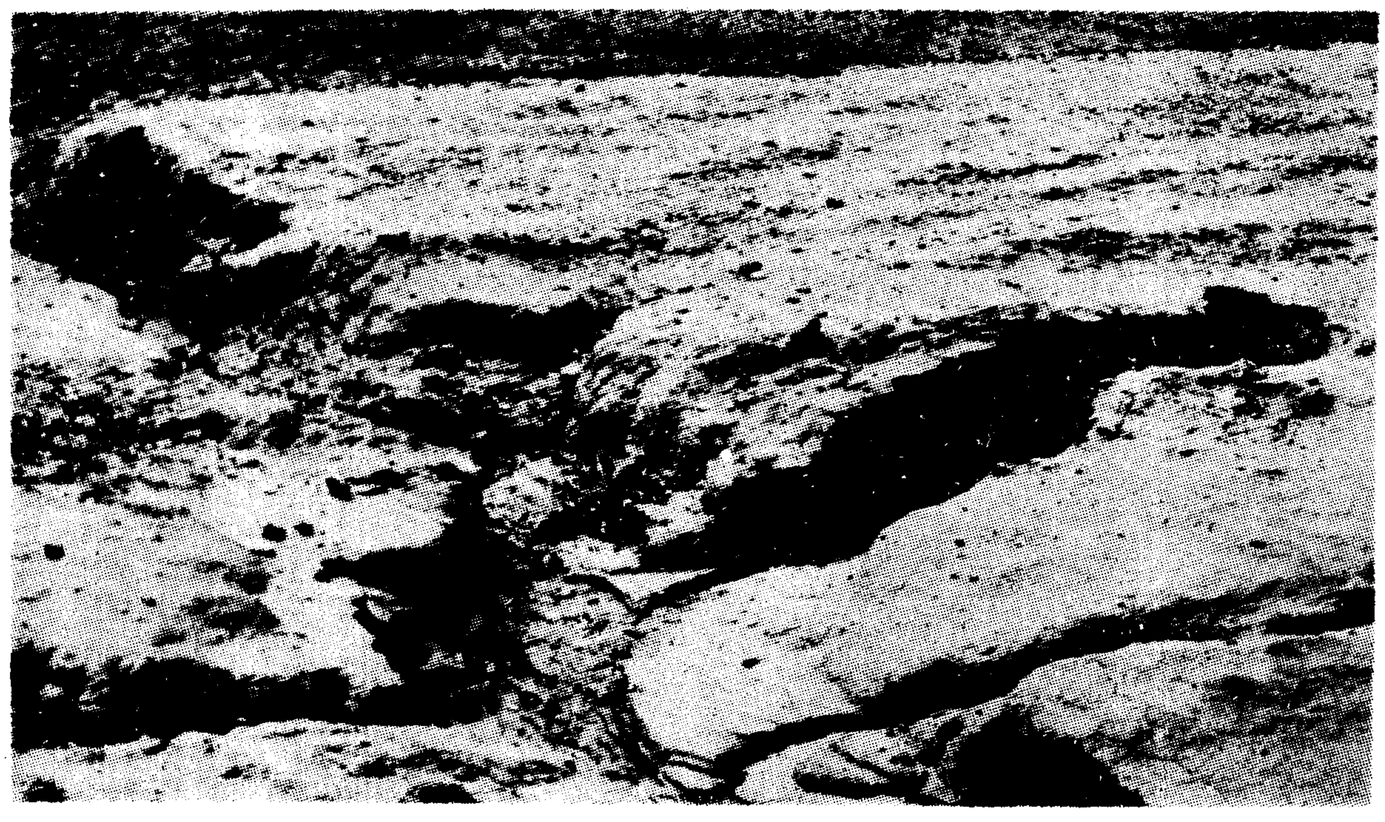


شکل ۷

شکل ۸



شکل ۹



شکل ۱۰

۴- برای خنثی کردن پدیده واگرائی وتبدیل خاک واگرا به غیرواگرا می‌توان ازجانشینی کاتیونهای باظرفیت بالا مانند کلسیم وآلومینیم به جای سدیم (باافزایش آهك وسولفات آلومینیم) با درصد کم استفاده نمود۰

مراجع مورد استفاده : REFERENCES:


۱ـ الرفاعی، ن ۰ ۱۳۵۳۰ مسائل ایجاد شبکه آبیاری در زمینهای گچدار حوزه رودخانه فرات درسوریه ، کنفرانس آبیاری و زهکشی تاشکند۰

۲ـام، پاکارو۰ ۱۳۵۵۰ استفاده ازغشاء های پلاستیکی غیرقابل نفوذ برای عایق بندی کانالهای اصلی شبکه آبیاری اصفهان درعبوراز اراضی گچدار۰ مهندسین مشاور سوگراه.

۳ـ بررسی ترمیم شبکه آبیاری گتوند۰ اسفندماه ۱۳۶۲۰ مهندسین مشاور عمران زمین ۰

4 - Altchinson, G.D.,& C.C. Wood. 1965. Some interactions of compaction, permeability, and Post-construction deflocculation affecting the probablity of piping failures in small dams. Proc. 6th Int. Conf. Soil Mech. & found. Eng., Montreal, Canada, Vol. 11, P. 442.

5 - Clark, M.R.E. 1986. Mechanics, identification, testing and use of dispersive soil in Zimbabwe.

6 - Decker, R.S. & L.P. Dunnigan. 1977. Development and use of the Soil Conservation Service dispersion test. STP 623, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania.

7 - Elges, H.F.W.K. July 1985. Problem Soils in south Africa State of the Art. The Civil Eng. in South Africa, Vol. 27. PP. 347-353.

8 - Emerson. W.W. 1967. A classification of soil aggregates based on their coherence in water. Australian Jr. of soil research, Vol. 5, PP. 47-57.

9 - Ingles, O.G., & C.C. Wood. 1964. The recognition of failure in earth dams by aerial survey. Australian Jr. of soil research, Vol. 26, No. 11.

10- Rallings, R.A. 1966. An investigation intc the causes of failure of farm dams in the Brigalow Belt of Central Queensland. Water research foundation of Australia, bult. No. 10.

11- Sherard, J.L. 1953. Influence of soil properties and construction methods on the performance of homogeneous earth dams. USBR. Tech. Memo No. 645, Denver.

12- Sherard, J.L., & R.S. Decker. 1977. Dispersive clays, related piping and erosion in geotechnical projects. STP 623, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania.

13- Sherard, J.L., L.P. Dunnigan, & R.S. Decker.Pinhole test for identifying dispersive soils. Jr. Geotechnical Eng. Div., ASCE, Vol. 102, No. GT1, PP. 69-85.

14- Sherard, J.L., R.S. Decker & N.L. Ryker. 1972. Piping in earth dams of dispersive clays. Proc. Speciality conf. on performance of earth and earth supported structures. ASCE, Vol. 1, Part 1, PP. 584-626.

15- Steele, E.F. June 1976. Characteristics and identification of dispersive clay soils. Annual meeting of ASAE.

Iranian J. Agric. Sci., Vol. 21, Nos.1,2, 1990.

# The Effect of Soil Salinity and Sodicity on Stability of Hydraulic Structures.

H. RAHIMI
Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.
Recieved for Publication November 6, 1989.

## ABSTRACT

Presence of different salts, specially sodium salts in some soils produces dispersivity which is always a problem for hydraulic structures such as canals, intake and diversion structures. In canals, the problem normally appears as destruction of concrete lining. In many irrigation projects a lot of money has been spent for repair, because of this problem, and unfortuately no single economical solution has been given. In a research program conducted for investigation on problems arisen in lining of Gotvand Irrigation Network and their causes, the case was thoroughly studied and different solutions proposed. Among these solutions usage of cement (as soil-cement), lime and Aluminium Sulfate as additives to stabilize the soil and control the dispersivity was investigated and some recommendations were made. This paper presents the results of the mentioned research work.