





وزارت جهاد کشاورزی
موسسه تحقیقات برنج کشور
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

زهکشی اراضی شالیزاری

نویسنده:

دکتر ولی الله کریمی

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران



۱۳۹۹

سرشناسه	: کریمی، ولی‌الله، ۱۳۵۰ -
عنوان و نام پدیدآور	: زهکشی اراضی شالیزاری / نویسنده ولی‌الله کریمی؛ ویراستاران علمی رضا اسدی، بهروز عرب‌زاده، مجتبی رضایی؛ [به سفارش] موسسه تحقیقات برنج کشور.
مشخصات نشر	: تهران: نارون دانش، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۱۵۷ص: جدول، نمودار.
شابک	: 978-622-715892-2
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه:ص. ۱۵۷.
موضوع	: شالیزارها -- ایران
موضوع	: Rice farms -- Iran*
موضوع	: زهکشی -- ایران
موضوع	: Drainage -- Iran
شناسه افزوده	: موسسه تحقیقات برنج کشور
رده بندی کنگره	: SB۱۹۱
رده بندی دیویی	: ۶۳۳/۱۸۰۹۵۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۱۹۴۶۷۲

آدرس: میدان انقلاب اسلامی، خیابان کارگر شمالی، خیابان نصرت شرقی، پلاک هفتادودو، واحد یک
شماره تماس: ۰۹۲۲۴۰۱۳۷۰۴ و ۰۲۱۶۶۹۳۲۲۴۵
آدرس الکترونیکی: narvanpub@gmail.com
آدرس سایت: www.narvanpub.com



عنوان کتاب: زهکشی اراضی شالیزاری
نویسنده: ولی‌الله کریمی
ویراستاران علمی: دکتر رضا اسدی، دکتر بهروز عرب‌زاده، دکتر مجتبی رضایی
این اثر به شماره ی ۹۸-29 k و تاریخ ۱۳۹۸/۱۲/۱۰ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی به ثبت رسیده است.
مسئولیت صحت مطالب با نویسنده است.
کلیه حقوق این اثر محفوظ می‌باشد.
ویراستار ادبی: مهدی جلائیان
صفحه‌آرا: اکرم ملک نژاد
طراح جلد: الویرا صیامی
ناشر: انتشارات نارون دانش
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
نوبت چاپ: اول — ۱۳۹۹
قیمت: ۳۳۰۰۰ تومان

ISBN: 978-622-7158-92-2

فهرست مطالب

پیش‌گفتار.....	۷
فصل اول: مقدمه.....	۹
۱-۱- کلیات.....	۱۱
۱-۲- خصوصیات زهکشی اراضی شالیزاری.....	۱۲
۱-۳- تعیین حدود حوضه زهکشی.....	۱۴
۱-۴- عوامل زیست محیطی در ارتباط با زهکشی.....	۱۵
فصل دوم: زهکشی سطحی.....	۲۱
۲-۱- مقدمه.....	۲۳
۲-۲- ایجاد چهارچوب برای طراحی اولیه.....	۲۴
۲-۲-۱- تعیین حدود منطقه پروژه.....	۲۴
۲-۲-۲- تعیین دیاگرام‌های زهکشی.....	۲۶
۲-۲-۳- تعیین موقعیت نقاط خروجی زهکشی.....	۴۲
۲-۲-۴- تعیین مسیر زهکش‌ها.....	۴۴
۲-۳- زهکشی سیلاب.....	۴۵
فصل سوم: زهکشی زیرزمینی.....	۶۳
۳-۱- زهکشی عادی.....	۶۵
۳-۲- توقعات کشاورزان برای زهکشی داخل مزرعه.....	۶۶
۳-۳- اعماق زهکش‌های زیرزمینی در سطح مزرعه.....	۶۶
۳-۴- فواصل زهکش‌های زیرزمینی در سطح مزرعه.....	۷۲
۳-۵- شیب و سرعت جریان در زهکش‌های زیرزمینی.....	۷۷
۳-۶- زهکش‌های زیرزمینی جانبی.....	۸۴
۳-۷- زهکش‌های جمع‌کننده.....	۸۴
۳-۸- طراحی زهکش‌های زیرزمینی.....	۸۶
۳-۹- فرمول جهت تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی.....	۸۹
۳-۱۰- فرمول تعیین قطر زهکش‌های زیرزمینی.....	۱۱۵
مثال محاسباتی ۸.....	۱۲۲
منابع.....	۱۵۷

پیش‌گفتار

همکاری‌های فنی بین مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز (نام فعلی) و آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (JICA) از سال ۱۳۶۳ آغاز شده که هنوز هم ادامه دارد. مرکز توسعه منابع انسانی کشاورزی هراز (نام قبلی) به عنوان یک مرکز تکنولوژیک برای توسعه منابع انسانی مرتبط با یکپارچه سازی اراضی شالیزاری کشور و تولید مکانیزه برنج در اراضی یکپارچه شده، طی دوره‌ی همکاری ۵ ساله (۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳) بین دولتین ایران و ژاپن ایجاد گردید. یکی از تعهدات طرف ژاپنی، تهیه متون تخصصی مورد نیاز به زبان انگلیسی بوده که توسط تیم کارشناسان ژاپنی که به صورت همکار متقابل (Counterpart) در پروژه فعالیت داشتند تهیه و در اختیار کارشناسان ایرانی قرار می‌گرفت.

دکتر کازانوری کاتو یکی از متخصصان برجسته جایکا در زمینه آبیاری و زهکشی بوده که در تمام طول مدت ۵ سال، حضور فعالی در پروژه داشتند و متون تخصصی متعددی را در زمینه آبیاری و زهکشی تهیه و تقدیم طرف ایرانی نمودند. ایشان قبل از این در کشورهای مختلف به عنوان استاد، کارشناس و همکار متقابل با جایکا همکاری داشتند.

زهکشی اراضی شالیزاری به واسطه شرایط توپوگرافی، ساختار کرت‌ها، نوع روش آبیاری، بالابودن تراز سطح آب زیرزمینی، وجود لایه سخت و قابلیت کشت محصولات فصل خنک پس از برداشت برنج، وضعیت متفاوتی نسبت به اراضی خشکه‌زاری دارد که در این کتاب به تفصیل به آن پرداخته شده است. از ویژگی‌های بارز این کتاب پرداختن به مباحث طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری است که با ذکر مثال‌های کاربردی به وضوح تشریح شده است.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- کلیات

برنج از قدیمی‌ترین گیاهانی است که پس از گندم بیشترین سطح زیرکشت اراضی کشاورزی را در جهان به خود اختصاص داده است و به عنوان غذای اصلی میلیون‌ها نفر در جهان بوده و نقش بارزی در تغذیه، درآمد و اشتغال‌زایی دارد. این محصول با سطح زیرکشت ۱۶۱ میلیون هکتار و میزان تولید ۷۰۰ میلیون تن نزدیک به دو سوم کالری مورد نیاز بیش از دو میلیارد نفر در آسیا و یک سوم کالری مورد نیاز یک میلیارد نفر در آفریقا و آمریکای لاتین را تأمین می‌کند.

سطح زیرکشت برنج در ایران ۵۲۰۰۰۰ هکتار بوده که ۷۵ درصد آن مربوط به سه استان شمالی است که در صورت مناسب بودن شرایط تأمین آب به ۶۲۰۰۰۰ هکتار هم می‌رسد. کشت برنج در ایران بیشتر به صورت نشایی بوده و آبیاری آن به صورت غرقابی (دائم یا متناوب) می‌باشد. هر چند برنج در شرایط غرقابی در مزرعه کشت می‌شود ولی غوطه ور شدن آن به دلیل ارتفاع زیاد آب، خسارات زیادی را در رویش گیاه و میزان محصول به وجود خواهد آورد.

یکی از سازه‌های مهم در اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده، کانال‌های زهکشی است که به صورت خاکی و با مقطع دوزنقه‌ای ساخته می‌شوند و سطح اشغال قابل توجهی از تاسیسات مزرعه را به خود اختصاص می‌دهند. وظیفه اصلی این کانال‌ها، تخلیه‌ی آب مازاد سطحی در مراحل مختلف شامل پرورش نشا در خزانه که نیاز است هر روزه آب آنها تخلیه گردد، آماده سازی زمین، نشاکاری در زمین اصلی، دوره رشد برنج، زهکشی میان فصل، زمان برداشت و در زمان کشت دوم پس از برداشت برنج می‌باشد. در اراضی

که سطح ایستابی بالایی دارند نیاز است تا سامانه زهکشی زیرزمینی برای دستیابی به عملکرد اقتصادی به منظور کشت محصولات فصل خنک مانند کلزا، شبدر، سبزیجات برگی احداث گردد.

در حالت کلی اهداف ایجاد سامانه زهکشی در اراضی شالیزاری خروج آب زیرزمینی از یک حوضه زهکشی، خارج کردن رطوبت اضافی خاک و افزایش درجه حرارت آن، رفع شوری خاک، بهبود وضعیت تهویه در منطقه توسعه ریشه‌ها و فراهم نمودن هر چه سریع‌تر امکان کار در روی زمین پس از بارندگی‌ها می‌باشد.

۲-۱- خصوصیات زهکشی اراضی شالیزاری

غرقاب بودن از مشخصات شالیزار است، معروف است که گیاه برنج می‌تواند زیر آب رشد کند. این مقاومت به مرحله رشد برنج بستگی دارد. این مقاومت از آنجا ناشی می‌شود که ریشه‌های گیاه برنج برای رشد در آب مناسب هستند. اما، در گیاهان خشکه‌زاری زیر آب رفتن هرگز مجاز نمی‌باشد. گیاهان خشکه‌زاری نمی‌توانند زیر آب بمانند زیرا ریشه‌های آنها خفه می‌شوند. همچنین معروف است که گیاه برنج قادر است در حالت غرقابی یا در زمین‌های خشکه‌زاری همانند سبزیجات رشد نماید. اگر گیاه برنج برای کل دوره رشد در خشکه‌زار کشت شود در برابر آب‌گرفتگی ضعیف می‌گردد. زیرا ریشه‌های آن با شرایط خشک سازگار شده است.

دوره‌های مختلف زهکشی در اراضی شالیزاری شامل زهکشی در زمان رشد برنج، زهکشی میان فصل، زهکشی در زمان برداشت و زهکشی جهت کشت محصولات فصل خنک (پس از برداشت برنج) می‌باشد. زهکشی زیرزمینی اراضی شالیزاری به صورت کنترل شده بوده و فقط در مواقع ضروری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

زهکشی در زمان رشد برنج جهت تخلیه آب مازاد و با استفاده از کانال‌های روباز صورت می‌گیرد. از تاسیسات مهم موجود در اراضی شالیزاری، کانال‌های زهکشی هستند که

وظیفه اصلی آنها تخلیه آب مازاد موجود در سطح زمین است و در پائین آوردن سطح آب زیرزمینی نیز نقش دارند. هر چند برنج در شرایط غرقابی در مزرعه کشت می‌شود ولی زیاد بودن عمق آب روی سطح زمین باعث بروز خسارات شدید در رویش گیاه و میزان عملکرد محصول می‌گردد. بیشترین میزان کاهش محصول برنج به دلیل عمق زیاد آب در بین مرحله آبستنی و گل دهی اتفاق می‌افتد.

در زمان بین حداکثر پنجه زنی و ابتدای رشد زایشی، زهکشی میان فصل انجام می‌شود و اجازه داده می‌شود تا زمین خشک شده و ترک‌های مویی در سطح زمین ایجاد شود. در این فرآیند ضمن تهویه خاک، سموم جمع شده در منطقه توسعه ریشه گیاه برنج از محیط خارج می‌گردد که این عمل باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود.

جهت برداشت محصول ضروری است تا سطح مزرعه به حدی خشک گردد که تردد ماشین آلات کشاورزی در آن به سهولت انجام پذیرد. پس از تخلیه کامل آب سطحی با کانال زهکشی، به دلیل ناهمواری سطح زمین، مقداری آب در فرورفتگی‌ها باقی می‌ماند که با تبخیر و تعرق و زهکشی زیرزمینی تخلیه می‌گردد. با توجه به نوع ماشین آلاتی که قرار است در زمان برداشت در سطح مزرعه تردد نمایند، تحمل پذیری مورد نیاز خاک تعیین می‌گردد. رابطه معکوسی بین رطوبت خاک و ظرفیت تحمل پذیری آن وجود دارد لذا برای استفاده آسان و با راندمان بالای ماشین‌آلات کشاورزی جهت برداشت (کمباین، تراکتور و ...) لازم است تا در کمترین زمان ممکن رطوبت خاک کاهش یابد. البته باید زمان قطع آبیاری و شروع خشک کردن زمین را با توجه به نیاز آبی گیاه و دسترسی به تحمل پذیری مورد نیاز تعیین نمود.

به دلیل مساعد بودن شرایط آب و هوایی، مناسب بودن بستر کشت (شالیزار) و نیروی کار فراوان در استان‌های شمالی کشور، امکان کشت محصولات فصل خنک خصوصاً سبزیجات میسر است. از آنجایی که میزان بارندگی در نیمه دوم سال بالا بوده و به تبع

آن عمق سطح ایستابی کم خواهد شد که برای اکثر محصولات مضر است. لذا تجهیز اراضی شالیزاری پست به سامانه زهکشی زیرزمینی ضروری به نظر می‌رسد.

۳-۱- تعیین حدود حوضه زهکشی

در یک پروژه آبیاری، حدود اراضی تحت پوشش به طوردقیق مشخص می‌گردد. زیرا اراضی آبیاری به عنوان اراضی که محصولات کشاورزی در آن تولید می‌شود تعریف می‌گردد. مهندسین آبیاری، سطح اراضی آبیاری را معین می‌کنند زیرا بایستی نیاز آب آبیاری و سطح آبیاری را که مستقیماً با ستانده پروژه مرتبط است، محاسبه نمایند.

وقتی که طرح زهکشی تهیه گردید، بایستی محدوده مطالعات را فراتر از خود اراضی پروژه گسترش داد. از نقطه نظر زهکشی، می‌توان گفت که اراضی تحت پوشش شبکه کانال‌های آبیاری، یک حوضه زهکشی داخلی است و درمقابل، حوضه زهکشی خارجی، اراضی خارج از محدوده تحت آبیاری است که آب مازاد آن به داخل اراضی آبیاری هدایت می‌شود. اگر این مقدار آب مازاد به عنوان منبع تأمین آب اراضی پروژه مورد استفاده قرار گیرد نمی‌توان اراضی مربوط را به عنوان یک حوضه زهکشی خارجی در نظر گرفت. باید تأکید کرد که حوضه زهکشی خارجی اراضی است که مستقیماً روی طرح زهکشی حوضه زهکشی داخلی به صورت انتقال آب مازاد یا افزایش سطح آب در زهکش‌های ساخته شده در اراضی پروژه، تأثیر می‌گذارد.

انتقال آب مازاد خارج اراضی پروژه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تجزیه و تحلیل رواناب مشخص می‌گردد. تعیین حدود با نقشه‌های توپوگرافی مشکل نیست اما تجزیه و تحلیل رواناب آسان نمی‌باشد. زیرا در جاهائی که رواناب تولید می‌شود رودخانه‌های کوچک، نهرها، دره‌ها، پرتگاه‌ها، جنگل‌ها و ... وجود دارد که ضرورتاً دارای داده‌های هیدرولوژیکی کافی نیستند.

بالا رفتن سطح آب در کانال‌های زهکشی داخل اراضی پروژه تحت تأثیر نوسانات سطح آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، باتلاق‌ها و دریاهایی است که آب زهکشی اراضی پروژه به داخل آنها تخلیه می‌گردد. امکان به‌دست آوردن داده‌های هیدرولوژیکی برای موارد ذکر شده توسط مهندسين زياد است.

۴-۱- عوامل زیست محیطی در ارتباط با زهکشی

زمانی که قرار است یک طرح زهکشی تهیه گردد، بایستی به حوضه زهکشی داخلی و همچنین حوضه زهکشی خارجی توجه گردد. اراضی خارج پروژه به طور اجتناب‌ناپذیری باعث بروز مشکلات زیست محیطی می‌گردد. برخی عوامل زیست محیطی که بایستی از پیش مورد مطالعه قرار گیرند در زیر ذکر شده است.

(الف) تأثیر پروژه زهکشی روی کمیت و کیفیت آب رودخانه‌هایی که آب زهکشی وارد آن می‌گردد مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. اغلب از نزدیکترین رودخانه در مجاورت اراضی پروژه برای تخلیه زه‌آبها استفاده می‌شود. دبی زهکشی براساس مدل‌های هیدرولوژیکی محاسبه می‌گردد. این بدان معنی است که می‌توان مقدار آب تخلیه شده از اراضی پروژه را محاسبه نمود. تأثیر پروژه روی رودخانه‌های موجود که آب زهکشی وارد آن می‌گردد قابل پیش‌بینی است. اگر رودخانه موجود نتواند از عهده آب زهکشی تخلیه شده از منطقه پروژه برآید، بایستی سطح مقطع جریان را افزایش داد یا مخازن تنظیمی یا حوضچه‌های تأخیری برای پایین آوردن دبی پیک تعبیه نمایند، هرچند ساخت این سازه‌های آبی هزینه‌های یک پروژه آبیاری و زهکشی را افزایش می‌دهد.

برخلاف کمیت آب، تجزیه و تحلیل کیفیت آب مشکل است و پیش‌بینی تأثیر پروژه بر رودخانه‌های موجود، دریاچه‌ها یا باتلاق‌هایی که آب زهکشی وارد آنها می‌گردد مشکل است. بهتر است که داده‌های مربوط به کیفیت آب پروژه‌های مشابه بررسی شود. در این حالت، بایستی روی روش‌های آبیاری سنتی در منطقه پروژه یعنی روش آبیاری کرت به کرت یا روش مبتنی بر جدا بودن کانال‌های آبیاری و زهکشی دقت کافی داشته باشند. روش آبیاری کرت به کرت مقدار کیفیت آب نسبتاً ثابتی را نشان می‌دهد زیرا آب به آرامی و با سرعت نسبتاً ثابت از کرتی به کرت دیگر جریان می‌یابد. روش مبتنی بر جدا بودن کانال آبیاری و زهکشی نوسانات مقادیر کیفیت آب را به همراه خواهد داشت. زیرا کنترل آب توسط کشاورز در سطح مزرعه مدیریت می‌گردد. علاوه بر متفاوت بودن روش‌های آبیاری، تنوع عملیات کشاورزی نیز مد نظر قرار می‌گیرد. در اکثر پروژه‌های آبیاری، از کودهای شیمیایی برای تولید محصول استفاده می‌کنند. مواد شیمیایی که به صورت کود استفاده شده‌اند به راحتی در آب حل می‌شوند. بنابراین کودهای شیمیایی خصوصیات واکنش سریع در برابر گیاهان دارند. کشاورزان تلاش می‌کنند تا عملکرد محصول را بالا ببرند. آسان‌ترین راه برای بالا بردن عملکرد، استفاده از کودهای ازته است که باعث پایین آمدن کیفیت محصول می‌گردد. بنابراین پس از اجرای پروژه آبیاری و زهکشی، میزان نیتروژن آب زهکشی افزایش قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. چون به کار بردن کودهای شیمیایی تحت تأثیر انگیزه کشاورزان قرار دارد لذا بررسی تغییرات کیفیت آب “با پروژه” و “بدون پروژه” بسیار مشکل است.

بعد از نیتروژن، بایستی میزان فسفر را در آب‌های زهکشی مشخص کرد. اگر زهکش‌ها به گونه‌ای طراحی شده باشند که فاضلاب منازل مسکونی نیز وارد آن گردد، خیلی مشکل است که بتوان فسفر نشأت گرفته از کودهای استفاده شده در مزارع را از فسفری که از منازل مسکونی وارد زهکش‌ها می‌گردند تفکیک نمود. موقعی که منطقه پروژه دارای

خانه‌های مسکونی زیادی باشد، بهتر است که تأسیسات تصفیه فاضلاب در آنها نصب گردد.

(ب) تأثیر زهکشی روی تغییرات زیست‌محیطی یک حوضه بسته

حوضه‌های بسته در واقع دریاچه‌ها یا خلیج‌هایی با خروجی منقبض شده یا بدون خروجی می‌باشند. زمانی که مجبور به استفاده از حوضه‌های بسته برای تخلیه آب زهکشی از منطقه پروژه باشیم، اغلب شرایط جریان را با آزمایشات مدل‌های هیدرولیکی کنترل می‌کنیم. آزمایشات مدل‌های هیدرولیکی می‌توانند داده‌های هیدرولیکی نظیر جهت‌های جریان، سرعت‌ها و مدت راکد ماندن آب را بدست دهند و نمی‌توانند شرایط بیولوژیکی را شبیه‌سازی کنند.

در مناطق خشک، گاهی از حوضچه‌های تبخیر جهت تخلیه آب زهکشی با هدف کم کردن دبی زهکشی کل استفاده می‌شود. اما این روش، اغلب با تجمع عناصر فلزی و شیمیایی موجود در آب زهکشی مرتبط است. بایستی توجهات خاصی به تأثیر این روش روی حیوانات و پرندوها مبذول کرد حتی اگر هیچ مشکلی از نظر توپوگرافی و خاک بوجود نیاید.

(ج) نشست پی در اراضی پیت یا باتلاقی باید مورد مطالعه قرار گیرد.

چنانچه یک پروژه زهکشی در اراضی پیت یا باتلاقی اجرا شود شبکه زهکشی باعث تسریع در تجزیه مواد آلی می‌گردد. این پدیده “نشست اراضی” نامیده می‌شود. اگر نشست اراضی در محل ساخت تأسیسات در نظر گرفته نشود، شبکه‌های زهکشی و تأسیسات آبیاری مسدود خواهند شد. پیش‌بینی نشست خیلی مشکل است حتی اگر آزمایش گودال در محل پروژه انجام شود، چاره‌ای جز این وجود ندارد که عمق مازاد کافی برای نشست در نظر گرفته شود.

اراضی پیت یا باتلاقی در مناطق حاره جهان گسترش یافته‌اند. در ژاپن نشست در اراضی پیت یا باتلاقی در نواحی سردسیر ژاپن واقع در منطقه شمال مشاهده شده است. باتلاق‌های موجود در جنوب شرق آسیا دارای پیت نشأت گرفته از چوب می‌باشند.

(د) سیستم‌های زهکشی "پس از اجرا" یعنی بهره‌برداری و نگهداری زهکش‌ها باید مورد توجه قرار گیرد.

اغلب از رودخانه‌های طبیعی به عنوان زهکش اصلی به منظور پایین‌آوردن هزینه‌های ساخت استفاده می‌گردد. این رودخانه‌های طبیعی را نمی‌توان انحصاراً برای پروژه‌های آبیاری و زهکشی استفاده نمود. بلکه کارخانه‌ها، مناطق مسکونی و غیره نیز از آن استفاده می‌کنند. مهندسين از لحاظ قانونی قادر به متوقف نمودن جریان فاضلاب منازل و صنعتی به داخل رودخانه‌ها نمی‌باشند. ضروری است تا تفاهم بیشتری بین استفاده‌کنندگان از رودخانه یعنی کشاورزان، افراد مقیم در منطقه و مالکین کارخانه‌هایی که از آن به عنوان یک زهکش استفاده می‌کنند وجود داشته باشد. اگر هیچ مقرراتی یا قانونی برای کنترل کیفیت آب فاضلاب وجود نداشته باشد، بهتر است که روی جوامع محلی کار شود یا با یک مسئول درخصوص چگونگی تخلیه آب فاضلاب به داخل رودخانه زهکشی بحث شود. به منظور دستیابی به تفاهم بهتر بین بهره‌وران، به کشاورزان که گروه عمده بهره‌وران را تشکیل می‌دهند پیشنهاد شده است تا داوطلبانه در عملیات نگهداری رودخانه زهکشی مانند لایروبی کردن مواد رسوب کرده در رودخانه و پاک کردن رودخانه از چوب و بوته و امثال آن مشارکت کنند.

(ه) تغییر نیازهای آب آبیاری پس از اتمام پروژه زهکشی باید مورد توجه قرار گیرند. اصلاح سیستم زهکشی با افزایش نیاز آب آبیاری همراه است. به عبارت دیگر، یک پروژه زهکشی را نمی‌توان از یک پروژه آبیاری جدا کرد. کشاورزان و مهندسين آبیاری ژاپن از

زمانهای دور آموخته‌اند که زهکشی همراه آبیاری است. اما متأسفانه در برخی کشورها پروژه‌های آبیاری بزرگی بدون شبکه زهکشی احداث شده‌اند. باید متذکر شد که حتی اگر هیچ آب مازاد یا آب زهکشی در یک مدل تئوری وجود نداشته باشد، بایستی زهکشها را در یک پروژه آبیاری احداث کرد خصوصاً پروژه‌هایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک طراحی شده‌اند

چرا با احداث شبکه زهکشی نیاز آب آبیاری افزایش می‌یابد؟

زیرا نفوذپذیری بهبود یافته و نفوذ عمقی بیشتر می‌گردد. افزایش نیاز آب آبیاری دلیل دیگری نیز دارد. برای مثال عملیات یکپارچه‌سازی اراضی اغلب باعث بالارفتن نیاز آب واحد در سطح مزرعه می‌گردد. زیرا در عملیات یکپارچه‌سازی اراضی عموماً زهکش‌ها از کانال آبیاری مجزا هستند و مدیریت آب به کشاورزانی که نمی‌توانند تلفات آب را کنترل کنند محول می‌گردد.

بنابراین، زمانی که یک پروژه زهکشی طراحی می‌شود، بایستی افزایش نیاز آب آبیاری را مدنظر قرار داد.

فصل دوم

زهکشی سطحی

۱-۲- مقدمه

کوچک‌ترین واحد زهکشی یک کرت زراعی است. معمولاً آب مازاد کرت زراعی به وسیله زهکشی سطحی و از طریق کانال‌های رو باز تخلیه می‌گردد. علاوه بر کانال‌های زهکشی روباز، گاه‌آ زهکش‌های زیرزمینی جهت دستیابی به مدیریت بهتر در نظر گرفته می‌شوند. شبکه زهکشی زیرزمینی شامل زهکش‌های زیرزمینی و تکمیلی که با کشیدن یک گلوله فلزی در زیر سطح زمین ایجاد می‌شوند، زهکش‌های جمع‌کننده که اساساً پیش‌ساخته هستند و چاهک‌های تنظیم‌کننده که وظیفه آنها پایین آوردن سطح آب زیرزمینی تا زیر سطح زهکشی است، می‌باشد. چون حداکثر دبی زهکشی سطحی و زیرزمینی به‌طور همزمان اتفاق نمی‌افتد، طراحی اولیه و تفصیلی شبکه‌های زهکشی سطحی در اولویت می‌باشد. اما نباید این نکته را فراموش کرد که ابعاد هیدرولیکی کانال زهکشی روباز بایستی به گونه‌ای باشد که آب مازاد تخلیه شده از زهکش‌های زیرزمینی به آسانی تخلیه گردد. کرت‌های زراعی که به یک کانال زهکشی مرتبط هستند یک بلوک زهکشی نامیده می‌شوند.

اراضی پروژه شامل چندین بلوک زهکشی است که یک حوضه آبریز را تشکیل می‌دهند. با نگاهی به اطراف اراضی پروژه می‌توان حوضه‌های آبریزی را مشاهده کرد که باعث ایجاد جریان‌های ورودی به داخل اراضی پروژه مورد نظر می‌گردند. اگر این حوضه‌های آبریز روی تراز سطح آب خارج تأثیرگذار باشند بایستی آنها را مورد مطالعه قرار داد.

سامانه زهکشی براساس نوع منبع تأمین انرژی آن که طبیعی یا مصنوعی است طبقه‌بندی می‌شود. زهکشی با استفاده از انرژی طبیعی، زهکشی ثقلی نامیده می‌شود زیرا در اثر اختلاف ارتفاع روی سطح زمین نیروی ثقل ایجاد می‌شود. زهکشی با استفاده از انرژی مصنوعی همان زهکشی با استفاده از ایستگاه پمپاژ می‌باشد. بنابراین زهکشی با پمپ نامیده می‌شود. یک نوع دیگر زهکشی که بین دو نوع ذکر شده قرار دارد به استفاده از دریچه کنترل بستگی دارد. زهکشی با استفاده از دریچه کنترل برای پروژه‌هایی به کار می‌رود که اختلاف سطح آب در داخل و خارج اراضی پروژه نسبت به زمان متغیر است.

۲-۲- ایجاد چهارچوب برای طراحی اولیه

براساس داده‌هایی که در خلال بررسی تفصیلی جمع‌آوری گردید، بایستی چهارچوبی برای طراحی اولیه تهیه نمود که شامل تعیین حدود منطقه پروژه، تعیین دیاگرام‌های زهکشی، تعیین موقعیت خروجی‌های زهکش و تعیین مسیر زهکش‌ها می‌باشد. هر یک از موارد ذکر شده مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۲-۲-۱- تعیین حدود منطقه پروژه

چون اغلب اصطلاح منطقه پروژه با منطقه مطالعه‌ای که در برگیرنده نه تنها اراضی داخل بلکه اراضی خارج پروژه می‌باشد اشتباه می‌گردد، لذا "منطقه پروژه" ذکر شده را به صورت اراضی که از اصلاح وضعیت زهکشی بهره‌مند می‌گردند محدود کرده و آن را "اراضی پروژه" می‌نامند.

در بیشتر موارد، یک پروژه زهکشی با شکایت کشاورزان آغاز می‌گردد این بدان معنی است که زمین زیرکشت بوده و بعضاً با سازه‌های آبی تجهیز شده است. بنابراین یک مرز خارج از منطقه آبیاری را به عنوان مرز زهکشی در نظر می‌گیرند. در این حالت، بایستی بررسی کرد که آیا جریان‌های مازاد آب از خارج منطقه پروژه به داخل منطقه آبیاری وجود دارد یا خیر. در صورتی که جریان‌های ورودی تشخیص داده شوند بایستی به

منظور متوقف کردن ورود آب به داخل منطقه پروژه اقدام به ساختن خاکریز یا زهکشی حائل نمایند یا اینکه اراضی پروژه را تا فراتر از مرز منطقه آبیاری یعنی نقطه‌ای که به واسطه شرایط توپوگرافی هیچ جریان ورودی وجود ندارد گسترش داد. بایستی یک مطالعه گزینشی جهت انتخاب صورت گیرد. مرز منطقه آبیاری می‌تواند جهت شروع کار تعیین حدود منطقه پروژه مفید باشد، اما هرگز نتیجه قطعی تعیین حدود منطقه پروژه را به دست نمی‌دهد.

هدف از یک پروژه آبیاری، مصرف آب آبیاری در داخل منطقه پروژه می‌باشد. این ویژگی برای اراضی شالیزاری نیز صادق است، هر چند بخشی از آب آبیاری به کانال پایین دست برمی‌گردد و در اراضی آبیاری دیگر مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرد.

هدف از پروژه زهکشی، انتقال آب به داخل منطقه پروژه نیست بلکه هدف آن خارج کردن آب از منطقه پروژه به منظور محافظت اراضی پروژه از خطر ماندآبی شدن، می‌باشد. در جاهائی که دبی آب مازاد زیاد باشد به داخل رودخانه زهکشی تخلیه می‌گردد در غیر این صورت در داخل پروژه مصرف یا جذب می‌گردد. این بدان معنی است که کاهش سطح آب گرفتگی در منطقه پروژه مستقیماً به کاهش سطح مقطع رودخانه زهکشی مرتبط است که ممکن است به طور غیر مستقیم باعث ایجاد سیل گردد.

در ژاپن سازه‌های بازدارنده سیلاب با اهمیت دادن به ساخت خاکریزهای سیلاب، بزرگ‌تر کردن سطح مقطع جریان و برداشتن موانع در مسیر جریان توسعه یافته است. هدف اصلی این سازه‌ها انتقال دبی سیلاب به خروجی رودخانه یعنی دریا با حداکثر سرعت ممکن می‌باشد. بایستی با اتخاذ تدابیری ظرفیت تخلیه رودخانه‌ها را به حداکثر ممکن رساند. بیشتر مردم بر این باورند که وقتی جریان سیل از خاکریزها سرریز می‌کند یا اینکه آن را بتدریج می‌شکند خسارات شدید زیادی به اراضی کشاورزی و شهرها وارد می‌سازد. امروزه آنها به مهندسیین عمران و مسئولین مربوطه اصرار می‌ورزند که مفاهیم

اصلی ذکر شده در بالا را بدین صورت تغییر دهند که نمی‌توان سیل را متوقف کرد و مجبوریم جهت کم کردن خسارات وارده اجازه دهیم بعضی از اراضی مشخص دچار آب گرفتگی گردند. در این راستا، هم مهندسین عمران و هم مهندسین آبیاری اهمیت دوباره اراضی کشاورزی را درک می‌کنند، که ظرفیت عظیمی برای ذخیره دبی سیلاب و به تأخیر انداختن رواناب خواهند داشت. هر چند افرادی که در شهرها زندگی می‌کنند و یا در مناطق صنعتی مشغول به کار هستند بایستی با کشاورزان به توافق برسند. همان‌طور که در بالا ذکر شد، ناحیه‌بندی اراضی پروژه را نمی‌توان فقط از نظر فنی انجام داد. بلکه بعضی اوقات مسائل اقتصادی و اجتماعی نیز تأثیر گذارند.

۲-۲-۲- تعیین دیاگرام‌های زهکشی

اراضی پروژه را می‌توان به چند بلوک زهکشی تقسیم کرد. بلوکهای زهکشی را می‌توان براساس شرایط توپوگرافی و انجمن بهره‌وران آب تفکیک کرد. اگر اولی را به عنوان شرایط طبیعی در نظر بگیریم، دومی به عنوان شرایط اجتماعی مورد توجه قرار می‌گیرد. ضرورتاً نمی‌توان تعیین کرد که کدام یک ارجح‌تر است. به هر حال ممکن است که زهکشهای موجود براساس تغییر شرایط کشاورزی یا اجتماعی اصلاح شوند. مثال‌هایی به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

(۱) کشت دوم پس از برداشت برنج در فصول سرد انجام می‌شود. محصولات زمستانه در سال‌های گذشته کشت شده و پس از آن در سال بعد برنج کشت می‌شود. این روش کشت تناوبی برنج و محصولات خشکه‌زاری در سال‌های متمادی انجام شده است. این شرایط کشت بیانگر دوری جستن از شرایط ماندابی در مزرعه است. در نتیجه بایستی دیاگرام‌های زهکشی را تجدید نظر و اصلاح نمود.

(۲) بخشی از اراضی شالیزاری براساس توسعه مناطق شهری به مناطق مسکونی یا محل ساخت کارخانجات و ادارات تبدیل شده است. این تغییر کاربری اراضی باعث افزایش ضریب رواناب و کاهش زمان عبور سیلاب می‌گردد. این امر موجب می‌گردد که

دیاگرامهای زهکشی مجدداً "مورد بررسی قرار گیرند و همچنین تدابیری جهت مقابله با پایین آمدن کیفیت آب اتخاذ نمود. مهندسین آبیاری گاهاً در طراحی عملیات تصفیه فاضلاب با مهندسین عمران همکاری می کنند.

(۳) مادامی که در اراضی پروژه از سیستم زهکشی مکانیکی استفاده نشود یعنی شبکه های زهکشی شامل کانال های زهکشی روباز باشند، نیازی به تقسیم بندی دقیق اراضی پروژه به بلوکهای زهکشی نمی باشد. اما اگر از پمپ استفاده شود بایستی اراضی پروژه را با دقت بسیار زیاد به بلوک های زهکشی تقسیم بندی کرد. تقسیم بندی اراضی پروژه بدون دقت کافی ممکن است که مستقیماً باعث برآورد بیش از حد بالا یا پایین تجهیزات گردد.

(۴) دو نوع زهکشی وجود دارد. زهکشی عادی و زهکشی فوق العاده که آن را "زهکشی سیلاب" می نامند. هدف اصلی زهکشی بهبود مدیریت آب از طریق زهکشی عادی و تخلیه آب مازاد ناشی از سیل از طریق زهکشی سیلاب صورت می گیرد. چون هدف دو نوع زهکشی متفاوت است، به طور همزمان اتفاق نمی افتند. با استفاده از تأخیر زمانی می توان هزینه های ساخت و مدیریت تأسیسات زهکشی را با تغییر دادن دیاگرام های زهکشی عادی به دیاگرام های زهکشی سیلاب اقتصادی تر کرد.

به عنوان مثال اراضی زهکشی وجود دارد که طول آن زیاد و عرض آن کم است. اراضی زهکشی مجهز به دو ایستگاه پمپاژ جهت اقتصادی کردن هزینه ها می باشد. یک پمپ در بالادست و دیگری در پایین دست نصب شده است. چون به دلیل شکل اراضی مسیر حرکت آب طولانی است بهره برداری همزمان ایستگاه های پمپاژ در زمان وقوع سیل سودمندتر است. اما بهره برداری مستقل از ایستگاه پمپاژ نصب شده در پایین دست با استفاده از ارتباط شبکه زهکشی بالادست با شبکه زهکشی پایین دست در زهکشی عادی اقتصادی تر می باشد. زمانی که دیاگرام های زهکشی تهیه می گردد، اغلب مشکلاتی بروز می کنند که نمی توان راه حل معینی برای آن یافت. برخی از آنها به شرح ذیل می باشند.

(۱) زمانی که سطح بلوک‌های زهکشی کمتر از چند صد هکتار باشد، تهیه هیدروگراف واحد به واسطه کم بودن زمان عبور سیلاب که اغلب آن را "زمان تمرکز سیل" می‌نامیم مشکل می‌باشد. برای مثال، زمان عبور یک سیل با فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$T_a = \frac{\ell}{20 \times \left(\frac{h}{\ell}\right)^{0.6}} \quad (2-1)$$

T_a : زمان عبور سیل که زمان تمرکز سیل نیز گفته می‌شود (ثانیه).

ℓ : فاصله افقی دورترین نقطه حوضه تا نقطه خروجی حوضه (متر).

h : فاصله عمودی دورترین نقطه حوضه تا نقطه خروجی حوضه (متر).

با به کار بردن این فرمول برای منطقه زهکشی با شیب تند و سطح ۱۰۰ هکتار زمان تمرکز حداکثر یک ساعت خواهد بود.

آیا می‌توان فرمول منطقی را برای بلوک‌های زهکشی که شامل اراضی قابل کشت یعنی شالیزار و خشکه‌زار هستند به کار برد؟

فرمول منطقی به صورت زیر می‌باشد:

$$Q = 0.2778 \ f.r.A \quad (2-2)$$

که:

Q : حداکثر دبی سیلاب (متر مکعب بر ثانیه)

f : ضریب رواناب

r : متوسط شدت بارندگی در خلال زمان عبور سیلاب (میلیمتر بر ساعت).

A : مساحت زهکشی (کیلومتر مربع)

(۱) دبی زهکشی با توجه به بلوک زهکشی برآورد می‌گردد و دبی زهکشی پایین‌دست را با جمع کردن دبی‌های زهکشی در بالادست که به زهکش پایین‌دست مرتبط می‌گردند محاسبه می‌نمائیم. این روش محاسبه براساس این فرض که دبی‌های پیک به طور همزمان به محل تلاقی زهکش‌های بالادست با زهکش پایین‌دست وارد می‌شوند استوار

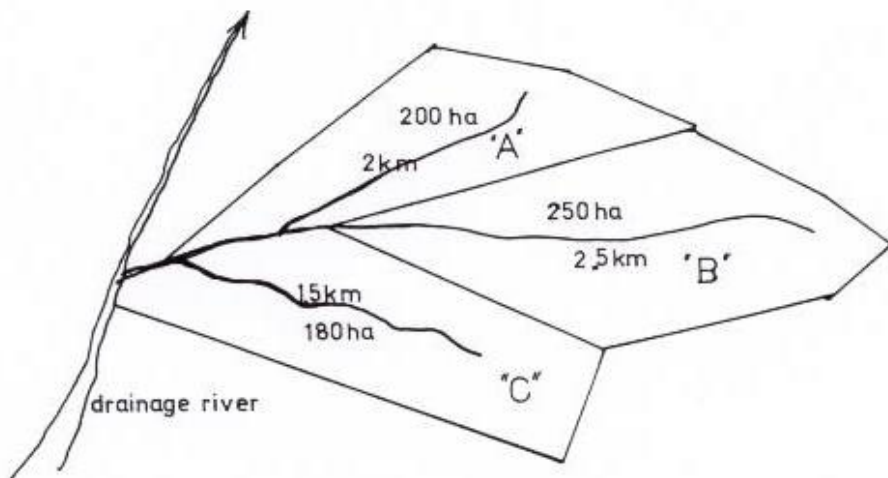
است. واضح است که این روش مقدار مطمئن‌تری را برای تأسیسات زهکشی به دست می‌دهد. به هر حال آیا این روش واقعی و متقاعدکننده است؟

(۲) اگر در یک منطقه زهکشی کشت غالب برنج باشد، به راحتی می‌توان دریافت که دبی پیک سیلاب بیشتر تحت تأثیر مقدار کل باران وارد شده به اراضی قرار می‌گیرد تا شدت بارندگی، چون هر کرت زراعی تا ارتفاع دهانه زهکش نصب شده در کرت زراعی به صورت یک مخزن ذخیره آب عمل می‌کند. در نتیجه دبی پیک سیلاب در اراضی شالیزاری دیرتر از اراضی که شامل جنگل، تپه و شیب‌دار هستند نمایان خواهد شد. اگر بتوان در وقوع دبی پیک تأخیر ایجاد کرد، تأسیسات زهکشی کوچکتری می‌تواند ساخته شود. چگونه می‌توان میزان تأخیر در یک پروژه را محاسبه کرد؟

چون نمی‌توان دیاگرام‌های زهکشی را به طور قطعی در مراحل اولیه طراحی مشخص کرد، بهتر است که چند سری از آنها را جهت مطالعات مقایسه‌ای تهیه نماییم.

مثال محاسباتی ۱

مطلوب است دیاگرام زهکشی مربوط به منطقه زهکشی داده شده در شکل (۱-۲)؟



شکل (۱-۲) منطقه پروژه دارای سه بلوک زهکشی

با بررسی مساحت‌ها روی نقشه توپوگرافی، داده‌های زیر به دست آمده‌است.

مشخصات بلوکهای زهکشی

نام بلوک	سطح زهکشی (ha)	مساحت اراضی شالیزار (ha)	مساحت اراضی خشکه‌زاری (ha)	مرتع و غیره (ha)	متوسط شیب	طول زهکشی (km)
A	۲۰۰	–	۱۵۰	۵۰	$\frac{1}{200}$	۲
B	۲۵۰	۱۵۰	۱۰۰	–	$\frac{1}{500}$	۲/۵
C	۱۸۰	۱۸۰	–	–	$\frac{1}{800}$	۱/۵

از طریق مصاحبه با کشاورزان صاحب زمین در بلوکهای A و B مشخص گردید که پس از اجرای شبکه‌های آبیاری آنها تمایل دارند تا اراضی خود را به دلیل درآمد بیشتر به شالیزار تبدیل کنند. به عنوان یک نتیجه، بایستی طرح زهکشی با این فرض که تمام اراضی پس از اجرای پروژه به شالیزار تبدیل می‌گردد تهیه شود.

برای رودخانه زهکشی نشان داده شده در شکل (۱-۲)، داده‌های هیدرولوژی و بارندگی مورد نیاز می‌باشد زیرا این رودخانه بزرگ است و توسط یک سازمان اداره و مشاهدات آن ثبت می‌گردد. زمانی که جهت جمع‌آوری اطلاعات به اداره مورد نظر مراجعه می‌شود و از آنها سؤال می‌گردد که آیا داده‌های قابل استفاده‌ای برای تجزیه و تحلیل سه زهکس موجود در منطقه پروژه وجود دارد با این جواب روبرو می‌شویم که "هیچ داده‌ای در دسترس نیست". بنابراین یک بررسی میدانی جهت به دست آوردن حداقل داده‌های مورد

نیاز انجام می‌گیرد. اما به دلیل محدودیت بودجه بایستی هزینه‌های بررسی را به حداقل رساند.

یک طرح بررسی را به موازات مطالعات به وسیله روشهای تحلیلی تهیه نمائید.

حل

به منظور به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز برای آنالیز رواناب بایستی تجهیزاتی در داخل منطقه پروژه نصب گردد. انتخاب محل و تعداد دستگاهها به روش تجزیه و تحلیل، خصوصاً فرمولهای محاسبه دبی‌های رواناب بستگی دارد. قبل از تعیین نوع و تعداد دستگاههای ثبات فرمولها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

(۱) چه فرمول‌هایی قابل قبول هستند؟

چندین روش برای محاسبه دبی پیک وجود دارد که به صورت زیر می‌باشد:

(الف) روشی که به اندازه‌گیری دبی و ترازهای سطح آب در محل بستگی دارد.

در این روش از مشاهدات میدانی چند مقطع عرضی رودخانه استفاده می‌شود که نیازمند صرف زمان زیادی می‌باشد. از داغاب موجود در دیواره رودخانه که تراز سطح آب و به تبع آن عمق جریان را نشان می‌دهد در منحنی دبی - اشل به کار برده دبی به دست می‌آید. همچنین می‌توان دبی پیک را در زمان وقوع سیل با اندازه‌گیری سرعت به وسیله مولینه محاسبه نمود.

(ب) روش‌های وابسته به دبی‌های ویژه

این روش به رابطه بین حداکثر دبی سیلاب و سطح حوضه بستگی دارد:

$$Q = C_n . A^n \quad (2-3)$$

که در آن:

C_n : ثابت که به خصوصیات حوضه بستگی دارد.

A : سطح حوضه

n : ضریب که برابر $0/8$ "فولن-هاگن"

برابر $0/5$ "کریگر-میر"

برابر $0/3-0/69$ "هادرز"

چون دبی ویژه با $q = \frac{Q}{A}$ بیان می گردد خواهیم داشت:

$$q = C_n . A^{n-1} \quad (2-4)$$

دکتر کریگر فرمول زیر را با استفاده از واحد فوت- مایل به دست آورده است:

$$q = 46C_n . A^{\alpha-1} \quad (2-5)$$

که:

A : مساحت حوضه (مایل مربع)

h : دبی ویژه (فوت مکعب بر ثانیه بر مایل مربع

$$\alpha = 0.894 \times A^{-0.048}$$

او بیان داشت چنانچه مقدار C برابر 100 در نظر گرفته شود تقریباً می توان فرمول (۵-۲) را برای همه سیلابهایی که در گذشته اتفاق افتاده اند به کار برد. محققین ژاپنی بر این باورند که چنانچه مقدار C بین 40 تا 50 در نظر گرفته شود، فرمول (۵-۲) حداکثر دبی سیلاب رودخانه های ژاپن را نشان می دهد. اما سازگاری این فرمول با استفاده از داده های به دست آمده از رودخانه های طبیعی دارای حوضه آبریز بیش از 30 کیلومتر مربع بررسی شده است. اما استفاده از این فرمول برای زهکش جمع کننده دبی سیلاب شالیزارهای با وسعت چند صد هکتار مورد تردید است.

(ج) روش مرتبط با فرمول منطقی

فرمول منطقی به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$Q = 0.2778 \times r \times f \times A \quad (2-6)$$

که در آن:

Q: دبی پیک سیلاب (متر مکعب بر ثانیه)

f: ضریب رواناب

r: متوسط شدت بارندگی در خلال گذر سیلاب (میلیمتر در ساعت)

A: سطح زهکشی (کیلومتر مربع)

زمان عبور یک سیل با فرمول ریزا محاسبه می‌گردد:

$$T_a = \frac{\ell}{20 \left(\frac{h}{\ell} \right)^{0.6}} \quad (2-7)$$

که:

T_a : زمان عبور سیل که همان زمان تمرکز است (ثانیه).

ℓ : فاصله افقی دورترین نقطه حوضه رودخانه تا نقطه خروجی حوضه (متر).

h: فاصله عمودی دورترین نقطه حوضه رودخانه تا نقطه خروجی حوضه (متر).

فرمول (۲-۷) اغلب برای رودخانه‌هایی که از مناطق کوهستانی به طرف پایین‌دست

جاری هستند به کار می‌رود. در حالتی که شیب رودخانه ملایم است یعنی رودخانه در

یک دشت جریان دارد، مقادیر دکتر کراون به صورت زیر به کار می‌روند:

(۱) در حالتی که $\frac{\ell}{h}$ بیشتر از $\frac{1}{100}$ باشد، سرعت انتشار سیلاب برابر $\frac{3}{5}$ متر بر ثانیه

است.

(۲) در حالتی که $\frac{\ell}{h}$ بین $\frac{1}{100}$ و $\frac{1}{200}$ باشد، سرعت انتشار سیلاب برابر ۳ متر بر ثانیه است.

(۳) در حالتی که $\frac{\ell}{h}$ کمتر از $\frac{1}{200}$ باشد، سرعت انتشار سیلاب برابر ۲/۱ متر بر ثانیه است.

چنانچه مقدار کراون را بپذیریم، بایستی این مقدار را به جای $20 \times \left(\frac{h}{\ell}\right)^{0.6}$ در فرمول (۲-۷) قرار دهیم. یعنی:

$$T_a = \frac{l}{\text{سرعت انتشار سیلاب}} \quad (۲-۸)$$

برای متوسط شدت بارندگی در خلال گذر سیلاب T ، چنانچه داده‌های بارندگی روزانه در دسترس نباشد، مقدار آن بر اساس داده‌های بارندگی روزانه و با استفاده از فرمول مونوبه محاسبه می‌گردد:

$$r_t = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (۲-۹)$$

که:

T_t : حداکثر شدت بارندگی برای یک دوره T ساعته (میلیمتر بر ساعت) که در فرمول (۲-۶)، T در نظر گرفته شده است.

R_{24} : بارندگی روزانه (میلیمتر)

T : دوره زمانی یک بارندگی پیوسته (ساعت) که در فرمول (۲-۷)، T_a در نظر گرفته شده است.

برای ضریب رواناب f ، دکترومونوبه جدول زیر را برای حوضه‌های آبریز ژاپن ارائه داده است.

جدول (۱-۲) ضریب رواناب در ژاپن

ضریب رواناب	توصیف حوضه آبریز
از ۰/۷۵ تا ۰/۹	۱- اراضی کوهستانی با شیب تند
از ۰/۷ تا ۰/۸	۲- کوههای به وجود آمده در دوره سوم زمین‌شناسی
از ۰/۵ تا ۰/۷۵	۳- اراضی دارای پستی و بلندی یا جنگلی
از ۰/۴۵ تا ۰/۶	۴- اراضی مسطح کشت شده
از ۰/۷ تا ۰/۸	۵- اراضی شالیزاریی که آبیاری می‌شوند.
از ۰/۷۵ تا ۰/۸۵	۶- رودخانه‌هایی که در مناطق کوهستانی جریان دارند.
از ۰/۴۵ تا ۰/۷۵	۷- رودخانه‌های کوچکی که در مناطق مسطح جریان دارند.
از ۰/۵ تا ۰/۷۵	۸- رودخانه‌های بزرگی که بیش از ۵۰ درصد حوضه آبریز آن اراضی مسطح است.

ملاحظه:

این جدول را نمی‌توان مستقیماً برای رودخانه‌های کشورهای دیگر به کار برد. ضریب رواناب را حتی در صورت کوچک بودن حوضه آبریز اندازه بگیرید. برای برخی رودخانه‌های مناطق نیمه‌خشک، مقدار ضریب رواناب بین ۰/۱ تا ۰/۲ به دست آمده است.

با توجه به مطالعات فوق روی فرمول منطقی، امکان استفاده از این فرمول وجود دارد. اندازه‌گیری f ، r و T_a در منطقه پروژه سازگاری این فرمول را تقویت خواهد کرد.

(د) روش‌های متکی به فرمول تجربی

در صورتی که دبی سیلاب توسط رودخانه‌ای که از مناطق کوهستانی به سمت پایین‌دست جریان دارد عبور داده شود، در مناطق پایین‌دست که مسطح می‌باشند سیلاب رخ می‌دهد. فرمول منطقی ذکر شده در بند (ج) قادر به تفکیک اراضی سیل‌خیز

از اراضی کوهستانی نمی‌باشد. به منظور رفع این نقص در فرمول، برخی از محققین فرمولهای تجربی را پیشنهاد نموده‌اند.

(۱-۵) فرمول هیزاناگا (formula Hisanaga's)

فرمول هیزاناگا با توجه به سطح اراضی سیل‌خیز و تصحیح اراضی پست نسبت به فاصله‌ای که از منبع آب دارند مشخص شده‌است. فرمول به صورت زیر ارائه شده است:

$$Q = 0.087 \times C \times R \times I^{0.356} \left(1 - \frac{A_1}{A}\right) \times A^{0.73} \quad (2-10)$$

که:

Q: دبی پیک (متر مکعب بر ثانیه)

$$C = C_1 \times C_2$$

C_۱: ضریب مربوط به شرایط زمین‌شناسی حوضه که در جدول (۲-۲) داده شده است.

جدول (۲-۲) مقادیر C_۱

مقدار	شرایط زمین‌شناسی
۱	۱- به جز برای مواردی که در بند (۲) و (۳) این جدول ذکر می‌گردد.
۱/۲	۲- حوضه از لایه‌های غیر قابل نفوذی است که در دوران مزوزوئیک و پالئوزوئیک تشکیل شده‌است.
۰/۸	۳- یک توده از لایه‌های تشکیل شده در دوران چهارم زمین‌شناسی در مجاورت نقطه مشاهدات وجود دارد.

C_۲: ضریب مربوط به مساحت و شیب زمین اراضی سیل‌خیز که در جدول (۲-۳) داده شده است.

جدول (۳-۲) مقادیر C_p

مقدار	شرایط زمین‌شناسی
۱	۱- به جز برای مواردی که در بند (۲) و (۳) این جدول ذکر می‌گردد.
۱/۲	۲- مناطق کوهستانی با شیب تند در حوضه وجود دارد، مسیر آب دارای پیچ و خم نبوده و رودخانه در زمان سیل طغیان نمی‌کند.
۰/۸	۳- حوضه نزدیک ایستگاه مشاهداتی است، شرایط توپوگرافی حوضه مسطح است و سطح اراضی سیل‌خیز وسیع است.

R : متوسط بارندگی حوضه (میلیمتر) در دوره زمانی $(T+48)$

T : زمان گذر سیلاب (ساعت)

T را با فرمول زیر محاسبه می‌نمایند:

$$T = 0.0139 + \frac{\ell}{(\tan \beta)^{\frac{3}{5}}} \quad (۲-۱۱)$$

ℓ : طول آبراهه (کیلومتر)

β : متوسط شیب آبراهه (درجه)

$$I = \frac{1}{R} \times [(T+48) \text{ زمانی دوره } 8 \text{ بارنی } \text{حداکثر} \text{ ساعته در دوره}]$$

A : مساحت حوضه (کیلومتر مربع)

A_1 : جمع کل مقادیر که با ضرب کردن مساحت هر ناحیه اراضی مسطح و فاکتور وزنی محاسبه شده است.

فاکتور وزنی برای نزدیکترین اراضی مسطح به ایستگاه مشاهداتی برابر یک و برای دورترین اراضی مسطح و نزدیک به منبع آب برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. بین نزدیکترین و دورترین نقطه، فاکتور وزنی به طور خطی نسبت به فاصله از نزدیکترین نقطه تغییر می‌کند. سطح دریاچه‌ها، آبگیرها یا باطلا‌ها بایستی ۴ برابر سطح اراضی پست در نظر گرفته شود.

با مطالعه فرمول (۲-۱۰) نیازهای زیر یافت شده است:

- نقشه‌های توپوگرافی ضروری است.
- بایستی نقشه‌های زمین‌شناسی را تهیه نمود.
- بایستی زمان گذر سیلاب اندازه‌گیری شود.
- داده‌های بارندگی ساعتی در صورت وقوع سیلاب ضروری هستند.

(د-۲) فرمول پسنتی (Possenti's Formula)

این فرمول در ایتالیا توسعه یافت، چون این فرمول اراضی پست و اراضی کوهستانی را به صورت مجزا در نظر می‌گیرد، مهندسين ژاپنی از آن استفاده می‌کنند.

$$Q = \frac{c \cdot r_{۲۴}}{\ell} \left(F_m + \frac{F_p}{۳} \right) \quad (۲-۱۲)$$

که در آن:

C: ضریب رواناب

$$c = \frac{\sqrt{\ell}}{10} \left(1.2 + \frac{A}{5 \cdot \ell} \right)$$

ℓ : طول آبراهه (کیلومتر)

A: مساحت حوضه (کیلومتر مربع)

F_p : مساحت اراضی پست (کیلومتر مربع)

F_m : مساحت اراضی کوهستانی (کیلومتر مربع)

$r_{۲۴}$: بارندگی روزانه (میلیمتر)

با مطالعه فرمول (۲-۱۲) نیازهای زیر یافت شده است:

- بایستی نقشه‌های توپوگرافی را تهیه نمود.
- داده‌های بارندگی روزانه ضروری است.

در هر دو فرمول تجربی درخصوص سازگاری آن با اراضی شالیزاری چیزی ذکر نشده است.

(ه) روش‌های متکی به هیدروگراف واحد

هیدروگراف واحد، گرافی است که رابطه بین زمان و دبی رواناب را پس از یک بارندگی نشان می‌دهد. بنابراین نیاز است که نوسانات دبی و بارندگی نسبت به زمان اندازه‌گیری گردد. چون این روش به اندازه‌گیری در محل متکی است، لذا می‌توان آن را نه تنها در مناطق کوهستانی بلکه در مناطق پستی که دارای شالیزار هستند به کار برد. با مطالعه روشهای نمونه ذکر شده در بالا، می‌توان اینطور نتیجه گرفت که از هر دو روش فرمول منطقی و هیدروگراف واحد می‌توان استفاده نمود.

(۱) چه داده‌هایی بایستی ثبت یا اندازه‌گیری گردند؟

دو فرمولی که شاخصهای زیر را دارا می‌باشند انتخاب شده‌اند. از فرمول منطقی داریم:

Q: دبی پیک سیلاب که بایستی با بارندگی مربوطه اندازه‌گیری گردد.

f: ضریب رواناب که بایستی براساس دبی و بارندگی محاسبه گردد.

I: متوسط شدت بارندگی در خلال گذر سیلاب که دارای دو نوع داده است که بایستی اندازه‌گیری گردد، یعنی بارندگی و زمان گذر سیلاب.

A: سطح زهکشی که از نقشه‌های توپوگرافی محاسبه می‌گردد.

از روش هیدروگراف واحد بایستی موارد زیر اندازه‌گیری گردد:

- دبی پایه جریان
- نوسانات دبی ناشی از بارندگی
- بارندگی در فواصل زمانی واحد

بارندگی که در هیدروگراف واحد مورد مطالعه قرار می‌گیرد بایستی از بارندگی‌های دیگر جدا گردد و به طور یکنواخت منطقه مورد مطالعه را تحت پوشش قرار دهد.

(۲) چگونه می‌توان داده‌های اندازه‌گیری شده در بلوک (C) را برای بلوکهای (A) و (B) به کار برد؟

به واسطه کم بودن بودجه، مجاز به خرید یک دستگاه ثابت بارندگی و یک دستگاه ثابت تراز سطح آب هستیم. چون دو دستگاه خیلی به یکدیگر مرتبط هستند، بایستی آنها را در یک گروه در یک بلوک زهکشی نصب نمود. این بدان معنی است که دو بلوک دیگر فاقد هر گونه دستگاه ثابتی هستند. بایستی حداکثر استفاده را از داده‌های اندازه‌گیری شده در محل نمود. چندین طرح کاربردی به صورت زیر وجود دارد:

(الف) پس از محاسبه دبی ویژه بلوک (C)، دبی ویژه بلوکهای دیگر را به تناسب سطح زهکشی حوضه محاسبه می‌نماییم.

(ب) چون متوسط شیب زهکش داده شده است، متوسط سرعت جریان را در یک سیل در بلوک (C) براساس داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد ضریب زبری زهکش بلوک (C) محاسبه می‌کنیم. با فرض اینکه ضریب زبری زهکشهای بلوک (A) و (B) یکی است سرعت جریان در زهکشها محاسبه می‌گردد. با استفاده از سرعت، زمان‌گذر سیلاب را محاسبه می‌نماییم. به محض اینکه زمان‌گذر سیلاب محاسبه گردید، متوسط شدت بارندگی در خلال گذر سیلاب را می‌توان از داده‌های بارندگی اندازه‌گیری شده مورد ارزیابی قرار داد. پس از اجرای عملیات اصلاح زهکشی، فرض می‌کنیم که ضریب رواناب f در بلوک (C) برای بلوکهای (A) و (B) نیز قابل استفاده باشد. با جاگذاری r ، f و A (مساحت حوضه زهکشی اندازه‌گیری شده از نقشه‌های توپوگرافی) در فرمول منطقی، دبی پیک دو بلوک به دست می‌آید.

(ج) با استفاده از ضریب زبری محاسبه شده در بند (ب)، سرعت جریان در زهکشها محاسبه می‌گردد، که به ارزیابی زمان‌گذر سیلاب مرتبط است.

با توجه به زمان‌گذر سیلاب، طول پایه هیدروگراف واحد تهیه شده در بلوک (C) را تغییر می‌دهیم، زیرا سطح زهکشی بین بلوک (C) و بلوک (A) و بین بلوک (C) و بلوک (B) متفاوت است.

باران‌های مؤثر در بلوک (A) و بلوک (B) در دسترس می‌باشد. چگونه می‌توان دبی پیک در بلوکهای (A) و (B) را حدس زد؟ هیدروگراف واحد در مقابل بارندگی برای بلوک (C) وجود دارد. از هیدروگراف واحد، دبی ویژه بلوک (C) را می‌توان محاسبه کرد. با فرض اینکه دبی ویژه در بلوک (C) و بلوکهای دیگر یکی است، دبی پیک بلوکهای (A) و (B) را محاسبه می‌کنیم. پس فرض می‌کنیم که دبی پیک محاسبه شده با چنین روشی مساوی دبی پیک هیدروگراف واحد است که بایستی معمولاً در محل اندازه‌گیری شود. چون هیدروگراف واحد با این فرض که می‌تواند روی هیدروگراف واحد دیگری سوار شود به دست می‌آید، دبی در نقطه تقاطع زهکش بلوک (A) و زهکش بلوک (B) را می‌توان محاسبه نمود.

با نگاه کردن به شکل (۱-۲)، درمی‌یابیم که فاصله بین خروجی زهکش بلوک (A) و خروجی زهکش جمع‌کننده آب مازاد که از بلوک (C) جریان می‌یابد قابل تشخیص نیست. بنابراین بایستی نقشه‌برداری توپوگرافی در مسیر زهکش بین دو نقطه خروجی انجام شود یا می‌توان زمان رسیدن دبی پیک به نقطه خروجی زهکش بلوک (C) را براساس مقادیر کراون به طور غیر دقیق محاسبه نمود.

(۱) در حالتی که $\frac{\ell}{h}$ بیشتر از $\frac{1}{100}$ باشد.

سرعت انتشار سیلاب برابر ۳/۵ باشد.

(۲) در حالتی که $\frac{\ell}{h}$ بین $\frac{1}{100}$ و $\frac{1}{200}$ باشد.

سرعت انتشار سیلاب برابر ۳ متر بر ثانیه است.

(۳) در حالتی که $\frac{\ell}{h}$ کمتر از $\frac{1}{200}$ باشد.

سرعت انتشار سیلاب برابر ۲/۱ متر بر ثانیه است.

چنانچه دو هیدروگراف واحد بلوکهای (A) و (B) روی هیدروگراف بلوک (C) سوار شوند، دو گراف اول بایستی جابجا شوند یا به اندازه دوره زمانی مورد نیاز جهت حرکت سیلاب از خروجی زهکشی بلوک (A) به خروجی زهکش بلوک (C) تأخیر زمانی داشته باشند.

۳-۲-۲- تعیین موقعیت نقاط خروجی زهکشی

انتخاب محل نصب نقاط خروجی زهکشی ارتباط تنگاتنگی با مسیر زهکشها دارد. معمولاً نقاط دارای کمترین ارتفاع روی نقشه توپوگرافی به هم وصل می‌شوند تا جریان آرامی در آنها وجود داشته باشد و هزینه‌های ساخت زهکشها بهینه گردد. در نتیجه پست‌ترین نقطه در منطقه پروژه به عنوان نقطه خروجی زهکش در نظر گرفته می‌شود. اگر بتوان مطمئن شد که آب مازاد زهکشی حاصل از یک بارندگی سنگین به آرامی و به طور یکنواخت به داخل رودخانه زهکشی می‌ریزد این ساده‌ترین روش مجاز خواهد بود.

اگر مشخص شود که تخلیه یکنواخت آب مازاد در سیلاب طرح محقق نمی‌گردد، بایستی قبل از تعیین مسیر زهکشها، محل ساخت خروجی زهکش مشخص شود. محل نقطه خروجی زهکش بایستی در داخل منطقه پروژه یا در صورت امکان اراضی بهره‌مند قرار گیرد. اگر محل خوبی در داخل منطقه پروژه وجود ندارد بهتر است که نصب دریچه‌های زهکشی یا ایستگاه پمپاژ مورد مطالعه قرار گیرد.

مورد مهم دیگر انتخاب محلی است که گروه نگهداری بتوانند پس از اتمام ساخت خروجی زهکش به سهولت به آن دسترسی داشته باشند. ساخت نطقه خروجی زهکش به معنی ایجاد یک تقاطع مصنوعی بین زهکش اصلی و رودخانه زهکشی می‌باشد. این کار ناچاراً باعث تغییر جریان در رودخانه زهکشی می‌گردد. آزمایشات مدل هیدرولیکی به خاطر هزینه بالای آنها به ندرت انجام می‌گیرند. به منظور برطرف کردن این مشکل مهندسين آبياري اغلب در طراحي اوليه پيشنهاد مي‌کنند که بایستی عملیات نگهداری پس از نصب خروجی زهکش به طور کامل و به دقت انجام گیرد. اگر چنین باشد، آنها بایستی لیست تجهیزات مورد نیاز را تهیه نمایند و روش دسترسی به نه تنها خروجی بلکه نقاط دورتر از آن را تأمین نمایند.

وقتی که قادر به یافتن محل خوبی برای نصب خروجی زهکش در شرایط طبیعی نباشیم بایستی ساخت دريچه تخليه يا ايستگاه پمپاژ را مود مطالعه قرار دهيم. چون نصب دريچه تخليه يا پمپ پر هزینه است لذا نیاز است که نه تنها تعداد واحدهای مورد نیاز بلکه تعداد خروجی‌های زهکشی نیز مورد توجه قرار گیرد. نیازی نیست که خروجی زهکشی به صورت یک شکل ساخته شود. براساس مطالعات گزینه‌ای روی هزینه‌ها، آنها ساخت بیش از یک خروجی را پیشنهاد می‌کنند. با توجه به احداث ایستگاه پمپاژ در منطقه مورد مطالعه، تحقیق در خصوص محل ساخت مخازن تأخیری در نزدیکترین نقطه به ایستگاه پمپاژ مهم خواهد بود، زیرا مخازن تأخیری ظرفیت پمپها را کاهش داده و مدیریت آب زهکشی به سهولت انجام می‌گیرد.

اگر محل نقطه خروجی یا دريچه تخليه يا ايستگاه پمپاژ شبیه یک خلیج یا ساحل دریا باشد یعنی مکانی که احتمالاً تحت تأثیر امواج جزر و مد قرار می‌گیرد آزمایش مدل هیدرولیکی کاملاً ضروری است. دبی زهکشی را در مقایسه با مقدار آب دریا قابل صرف نظر کردن است. این پیش قضاوت به مسدود شدن خروجی زهکش یا توقف بهره‌برداری

دریچه تخلیه مرتبط است. هر چند آزمایش مدل هیدرولیکی ارزان نیست شایسته است که در نظر گرفته شود.

۴-۲-۲- تعیین مسیر زهکش‌ها

زمانی که دیگرام‌های زهکشی تهیه می‌شوند بایستی منطقه پروژه را به چندین بلوک زهکشی تقسیم نمود. هر بلوک زهکشی معمولاً با زهکش‌های درجه دو، درجه سه و زهکش‌های داخل مزرعه مرتبط است. مسیر این زهکش‌ها اغلب نه تنها به وسیله شرایط توپوگرافی بلکه به وسیله فاکتورهای فنی نظیر به حداکثر رساندن تعداد کرت‌های زراعی مستطیلی یا توسط فاکتورهای اجتماعی نظیر گروه‌بندی کردن کشاورزان یک روستا و جدایی زیرساخت‌های زهکشی مهم موجود تعیین می‌گردد. بایستی از زهکش‌های موجود به طور کامل استفاده نمود. اما، وقتی که در یک پروژه‌ی زهکشی، عملیات یکپارچه‌سازی اراضی نیز وجود داشته باشد بهتر است که مطالعه مقایسه‌ای بین بازسازی زهکش‌های موجود و ساخت زهکش‌های جدید انجام گیرد.

برای زهکش اصلی، با متصل کردن نقاط دارای پایین‌ترین ارتفاع روی نقشه‌های توپوگرافی مسیر آن را ترسیم می‌کنند. زهکش اصلی معمولاً با حفاری در خاک ساخته می‌شوند. مقدار خاک حفاری شده در زهکش اصلی قابل ملاحظه است، زیرا سطح مقطع عرضی آن بزرگتر از زهکش‌های کوچک دیگر است. زمانی که فرصت بازدید از یک پروژه را داشته باشیم، می‌بینیم که خاکریزهای کناری در امتداد زهکش اصلی ساخته شده‌اند که اغلب مانع ورود آب به داخل زهکش می‌گردند.

نمی‌توان این روش نادرست را به حساب مهندسين آبیاری درگیر در طراحی اولیه گذاشت. هر چند بر این باوریم که خاک حفاری شده ممکن است به عنوان مواد ساخت و ساز نظیر خاک سطحی مزرعه بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

به موازات ترسیم مسیر زهکش اصلی، جاده‌های سرویس در کنار زهکش احداث می‌شوند. در این وضعیت می‌توان امکان استفاده از خاکهای حفاری کانال را به عنوان مصالح خاکریز استفاده نمود.

قبل از احداث قطعی زهکش اصلی، بهتر است که مهندسین آبیاری با پای پیاده در امتداد زهکش اصلی در محل پروژه حرکت کنند. اگر روستایی در مجاورت مسیر وجود داشته باشد یا از مسیر جاده‌ای عبور نماید بهتر است که روی جاده سنگفرش گردد تا سیلاب از آن عبور نماید.

۳-۲- زهکشی سیلاب

اهداف زهکشی سیلاب، حفاظت اراضی زراعی در برابر سیلاب و آب گرفتگی در یک بارندگی شدید و به حداقل رساندن خسارات ناشی از آنها می‌باشد. پروژه‌های زهکشی مرسوم روی زهکشی سیلاب تأکید دارند. در کشورهایی که اراضی کشاورزی به صورت علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد و جاهایی که مصرف‌کنندگان، کیفیت بالاتر محصولات کشاورزی را خواستارند، زهکشی عادی با هدف دستیابی به مدیریت آب یکنواخت علاوه بر زهکشی سیلاب در یک پروژه زهکشی در نظر گرفته می‌شود. هر چند در بیشتر کشورها، هدف افزایش تولید محصولات کشاورزی است. همچنان زهکشی سیلاب مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرد، زیرا حفاظت اراضی شالیزاری در برابر سیلاب سودمندتر از زراعت علمی است.

طرح زهکشی سیلاب جدای از طرح زهکشی عادی تهیه می‌شود در حالی که قسمت اعظم تأسیسات زهکشی پس از احداث به طور مشترک مورد استفاده قرار می‌گیرند. ایده خوبی است که تأسیسات زهکشی براساس معیارهای طراحی مربوط به سیلاب طراحی شوند و زمانی که کشاورزان به زهکشی عادی نیاز پیدا کردند با اصلاح کانالهای زهکشی، تأسیسات زهکشی بهبود می‌یابند و نهایتاً با به کار بردن پمپها می‌توان انجام زهکشی

عادی را محقق کرد، زیرا اصولاً زهکشی عادی به توسعه و مدیریت داخل مزرعه مرتبط است. زهکشی سیلاب به گونه‌ای طراحی شده است که آب زهکشی از داخل یک حوضه زهکشی در شرایط بارندگی طرح زهکشی در کوتاهترین زمان ممکن به خارج اراضی پروژه در شرایطی تخلیه گردد که اراضی خارج پروژه دارای تراز سطح آب طرح خارج پروژه باشد و اراضی پروژه در یک عمق آب گرفتگی مجاز حفظ شوند.

عمق آب گرفتگی مجاز براساس نوع محصول و با در نظر گرفتن شدت و وسعت خسارات ناشی از آب گرفتگی تعیین می‌گردد. وسعت خسارات وارده به محصول، تحت تأثیر مدت و عمق آب گرفتگی در مرحله رشد محصول قرار می‌گیرد. مثالی از وسعت خسارات وارده به غلات زمستانه نظیر گندم، جو و غیره ارائه می‌گردد که نمونه‌هایی از محصولات خشکه‌زاری هستند.

جدول (۲-۴) وسعت خسارات وارده به غلات زمستانه در اثر آب گرفتگی

مرحله رشد		مرزها زیر آب بوده و بخشی از محصول نیز زیر آب قرار دارد.		محصول به طور کامل زیر آب رفته است.		آب در بین ردیفها ساکن بوده و عمق آن ناگهان تا ۱۰ سانتیمتر بالای لبه مرزها افزایش می‌یابد.	
مدت آب گرفتگی	درصد کاهش محصول	مدت آب گرفتگی	درصد کاهش محصول	مدت آب گرفتگی	درصد کاهش محصول	مدت آب گرفتگی	درصد کاهش محصول
کمتر از ۱ روز	۵٪	کمتر از ۱ روز	۵٪	کمتر از ۱ روز	۵٪	کمتر از ۱ روز	۰٪
۱ تا ۳ روز	۱۰٪	۱ تا ۳ روز	۱۰٪	۱ تا ۳ روز	۱۰٪	۳ روز	۵٪
بیش از ۳ روز	۲۰٪ تا ۴۰٪	بیش از ۳ روز	۳۰٪	۳ تا ۷ روز	۱۵٪	۳ تا ۷ روز	۱۵٪
-	-	-	-	۷ تا ۱۵ روز	۲۰٪	۷ تا ۱۵ روز	۲۰٪

مرحله رشد		محصول به طور کامل زیر آب رفته است.		مرزها زیر آب بوده و بخشی از محصول نیز زیر آب قرار دارد.		آب در بین ردیفها ساکن بوده و عمق آن ناگهان تا ۱۰ سانتیمتر بالای لبه مرزها افزایش می یابد.	
	بیش از ۱۵ روز	۳۰٪	-	-	-	-	-
مرحله پنجه زنی	کمتر از ۱ روز	۵٪	کمتر از ۱ روز	۵٪	کمتر از ۱ روز	۰٪	۰٪
	۱ تا ۳ روز	۱۰٪	۱ تا ۳ روز	۱۰٪	۳ روز	۵٪	۵٪
	بیش از ۳ روز	۲۰٪ تا ۴۰٪	بیش از ۳ روز	۳۰٪	۳ تا ۷ روز	۱۵٪	۱۵٪
	-	-	-	-	۷ تا ۱۵ روز	۲۰٪	۲۰٪
	-	-	-	-	بیش از ۱۵ روز	۳۰٪	۳۰٪
مرحله تشکیل پانیکول	۰/۵ روز	۵٪	-	-	-	-	-
	۱ روز	۲۰٪	کمتر از ۱ روز	۱۰٪	-	-	-
	۱ تا ۳ روز	۳۵٪	۱ تا ۳ روز	۲۰٪	۳ روز	۱۰٪	۱۰٪
	بیش از ۳ روز	۵۰٪	۳ تا ۷ روز	۳۰٪	۳ تا ۷ روز	۳۰٪	۳۰٪
	-	-	بیش از ۷ روز	۵۰٪	۷ تا ۱۵ روز	۴۰٪	۴۰٪
	-	-	-	-	بیش از ۱۵ روز	۵۰٪	۵۰٪
مرحله آبستنی	۰/۵ روز	۱۰٪	-	-	-	-	-
	۱ روز	۳۰٪	کمتر از ۱ روز	۱۰٪	-	-	-

مرحله رشد		محصول به طور کامل زیر آب رفته است.		مرزها زیر آب بوده و بخشی از محصول نیز زیر آب قرار دارد.		آب در بین ردیفها ساکن بوده و عمق آن ناگهان تا ۱۰ سانتیمتر بالای لبه مرزها افزایش می یابد.	
بین ۱ تا ۳ روز	۶۰٪	بین ۱ تا ۳ روز	۲۰٪	۳ روز	۱۰٪		
بیش از ۳ روز	۹۰٪	بین ۳ تا ۷ روز	۳۰٪	بین ۳ تا ۷ روز	۲۰٪		
-	-	بیش از ۷ روز	۴۵٪	بین ۷ تا ۱۵ روز	۲۵٪		
-	-	-	-	بیش از ۱۵ روز	۳۵٪		
-	-	کمتر از ۱ روز	۵٪	-	-		
-	-	بین ۱ تا ۳ روز	۱۰٪	۳ روز	۵٪		
-	-	بین ۳ تا ۷ روز	۲۰٪	بین ۳ تا ۷ روز	۱۰٪		
-	-	بیش از ۷ روز	۳۰٪	بین ۷ تا ۱۵ روز	۱۵٪		
-	-	-	-	بیش از ۱۵ روز	۲۰٪		
۵/۰ روز	۶۰٪	-	-	-	-		
۱ روز	۸۰٪	کمتر از ۱ روز	۵٪	-	-		
بیش از ۱ روز	۱۰۰٪	بین ۱ تا ۳ روز	۵٪	۳ روز	۵٪		

مرحله
خوشه‌دهی

مرحله
رسیدن

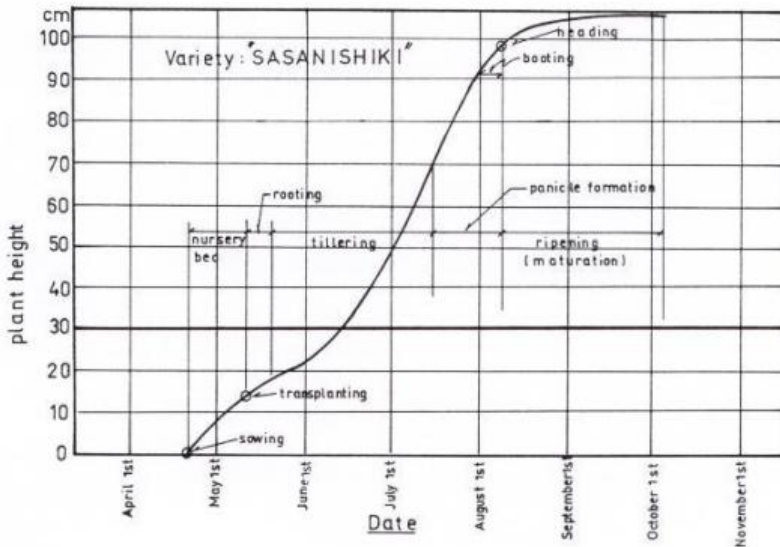
مرحله رشد		محصول به طور کامل زیر آب رفته است.		مرزها زیر آب بوده و بخشی از محصول نیز زیر آب قرار دارد.		آب در بین ردیفها ساکن بوده و عمق آن ناگهان تا ۱۰ سانتیمتر بالای لبه مرزها افزایش می یابد.
-	-	بین ۳ تا ۷ روز	۱۵٪	بین ۳ تا ۷ روز	۵٪	
-	-	بیش از ۷ روز	۲۵٪	بین ۷ تا ۱۵ روز	۱۰٪	
-	-	-	-	بیش از ۱۵ روز	۱۵٪	

نه تنها غلات زمستانه بلکه محصولات خشکه زاری دیگر نیز قادر به تحمل آب گرفتگی (Submergence) نمی باشند، که آب گرفتگی وضعیتی است که محصولات زیر آب قرار می گیرند در حالی که ماندآبی (Inundation) وضعیتی است که اراضی پوشیده از آب را کد سطحی می باشد.

در نتیجه هیچ گونه عمق ماندآبی مجازی برای اراضی خشکه زاری در نظر گرفته نمی شود. زمانی که محدوده منطقه ای مشخص می شود که اراضی آن به طور دائمی به صورت خشکه زاری زیر کشت می رود یا جایی که اراضی شالیزاری پس از تغییر شکل با محصولات خشکه زاری کشت می شوند، معمولاً اراضی مرتفع یعنی جایی که هیچ خطر ماندآبی شدن وجود ندارد در نظر گرفته می شود.

در مقایسه با محصولات خشکه زاری، برنج را با میزان مقاومت در برابر آب گرفتگی در یک دوره زمانی معین توصیف می کنند. این مقاومت به مرحله رشد و مدت آب گرفتگی بستگی دارد.

در اینجا مثالی از رشد نمونه ای برنج، بیان می گردد. واریته برنج داده شده در شکل زیر از نوع ژاپنی است.

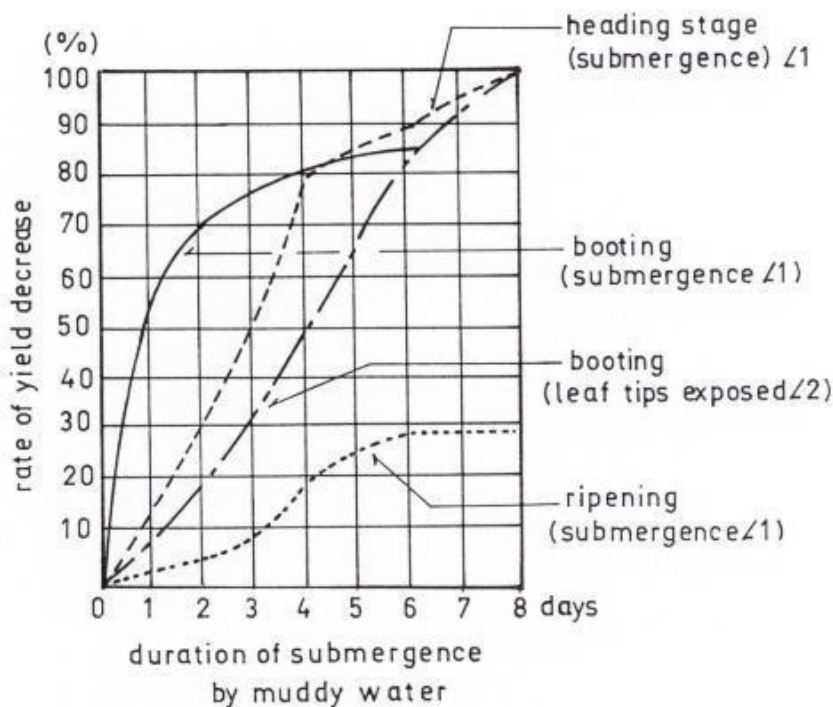


شکل (۲-۲) رابطه بین مرحله رشد و ارتفاع گیاه (نوع ژاپنی)

ارتفاع گیاه برنج پس از نشاء در مرحله ریشه‌زنی تغییر نمی‌کند و متناسب با افزایش دما در مرحله پنجه‌زنی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. رشد گیاه در دوره تشکیل پانیکول ادامه می‌یابد و پس از خوشه‌دهی به حداکثر خود می‌رسد. یعنی زمانی که ارتفاع گیاه در حدود یک متر باشد. در خلال مرحله رسیدن، ارتفاع گیاه به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش نمی‌یابد. کل دوره رشد گیاه برای واریته ساسانیشیکی در حدود ۱۶۵ روز است. کل دوره رشد و طول دوره زمانی هر مرحله به واریته برنج بستگی دارد در حالی که هر واریته برنج، تمام مراحل رشد نشان داده شده در شکل (۲-۲) را سپری می‌کند. محققین کشاورزی گزارش دادند که کاهش عملکرد مستقیماً با مدت زمان آب‌گرفتگی و مرحله رشد برنج و به طور غیر مستقیم با کیفیت آبی که سطح زمین را پوشانده بستگی دارد.

با توجه به مرحله رشد داده شده در شکل (۲-۳)، دو مثال برای رابطه بین میزان افت محصول و مدت آب‌گرفتگی ارائه می‌گردد. مثال اول برای حالتی است که گیاه برنج زیر

آب گل آلود قرار داشته باشد.



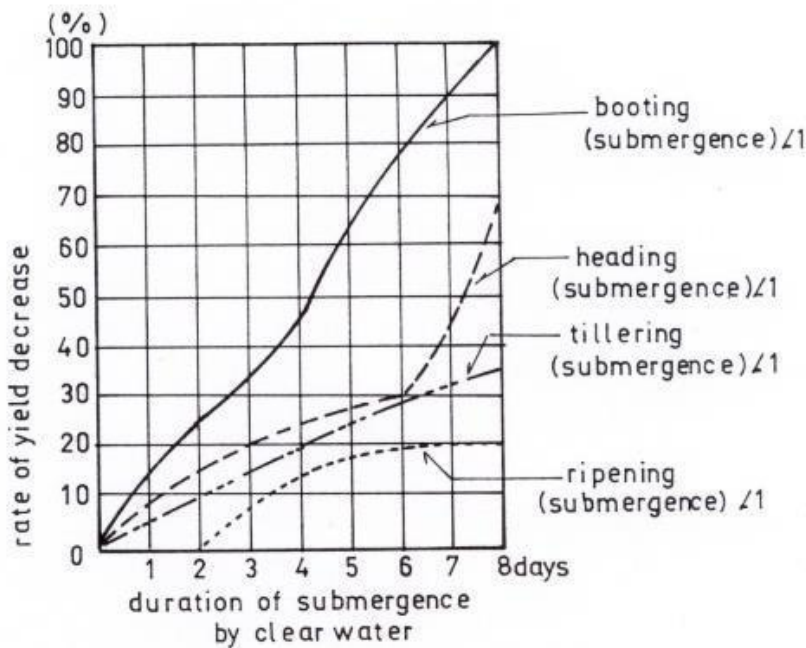
شکل (۲-۳) رابطه بین میزان افت محصول و مدت آب گرفتگی در شرایط آب گل آلود

ملاحظه:

- ۱: عبارت "آب گرفتگی" بیانگر آن است که تمام گیاه زیر آب است.
- ۲: عبارت "نوک برگ نمایان است" بیانگر آن است که نوک برگ بین ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر بالای سطح آب نمایان است.

شکل (۲-۳) نشان می‌دهد که آب گرفتگی باعث خسارت فراوانی به مزارع شالیزاری پس از مرحله تشکیل خوشه یعنی مرحله آبستی و مرحله خوشه‌دهی می‌گردد که در ژاپن به طور کامل در فصل بارندگی‌های شدید قرار دارد.

در مناطق جنوبی ژاپن، به دلیل گرمای هوا، بذریاشی دیرتر صورت می‌گیرد. واریته‌های ژاپنی نظیر "تویوتاما" و "ریهو" معمولاً در دهه آخر می‌بذریاشی می‌گردند. ارتفاع گیاه در اول جولای در حدود ۳۰ سانتیمتر تخمین زده می‌شود که شروع فصل بارندگی‌های شدید می‌باشد. توسعه ریشه‌های برنج در این مرحله صورت می‌گیرد که به طور جدی به واسطه آب‌گرفتگی خسارت نمی‌بیند بنابراین عمق مجاز ماندآبی با در نظر گرفتن ارتفاع گیاه برنج کشت شده در منطقه جنوبی در شروع فصل سیلاب، ۳۰ سانتیمتر از سطح زمین می‌باشد. به آسانی می‌توان دریافت که آب گل‌آلود خسارات بیشتری در مقایسه با آب زلال به گیاه وارد می‌سازد. مثال بعدی حالتی است که برنج زیر آب صاف قرار گرفته است.



شکل (۲-۴) رابطه بین میزان افت محصول و مدت ماندآبی در حالت آب صاف

شکل (۲-۴) نشان می‌دهد که مرحله آبستنی برنج حساسیت خیلی زیادی به آب‌گرفتگی دارد. میزان کاهش عملکرد در مرحله آبستنی در حالتی که زیر آب صاف باشد ۲۵٪ است در حالی که اگر در مرحله آبستنی نوک برگ برنج بین ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر بالاتر از سطح آب گل آلود باشد میزان کاهش محصول ۱۸٪ خواهد بود.

اگر آب‌گرفتگی بیش از سه روز ادامه داشته باشد، شیب منحنی میزان کاهش عملکرد حتی برای آب صاف تندتر خواهد شد.

با بررسی دقیق شکل (۲-۳)، می‌توان دریافت که میزان کاهش عملکرد در مرحله خوشه‌دهی برنج، چنانچه تمام گیاه زیر آب گل آلود باشد در حدود ۳۰٪ است. میزان ۳۰٪ بیشتر از ۱۸ درصدی است که برای حالتی که در مرحله آبستنی گیاه می‌تواند نوک برگ خود را ۱۰ الی ۱۵ سانتیمتر بالاتر از سطح آب گل آلود قرار دهد. همانگونه که در شکل (۲-۲) نشان داده شده، مرحله خوشه‌دهی مطابق با پایان مرحله آبستنی است در خلال مرحله آبستنی، شکل (۲-۲) نشان می‌دهد که ارتفاع گیاه ۱۰ سانتیمتر بیشتر می‌گردد. این بدان معنی است که اگر بتوان شرایطی را که در مرحله آبستنی نوک برگ گیاه برنج ۱۰ الی ۱۵ سانتیمتر بالاتر از سطح آب گل آلود است در مدت زمانی کمتر از ۲ روز حفظ کرد، می‌توان پیش‌بینی کرد که در مرحله خوشه‌دهی گیاه برنج میزان کاهش محصول بیشتر از ۲۰٪ است.

به جز برای مرحله آبستنی، میزان کاهش محصول برای آب‌گرفتگی حداکثر دو روز کمتر از ۱۰٪ می‌باشد. شکل (۲-۳) و (۲-۴) نشان می‌دهند که اگر آب‌گرفتگی بیش از ۳ روز ادامه داشته باشد، میزان کاهش محصول به شدت افزایش می‌یابد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد در حالتهای اضطراری که عمق ماندآبی بیشتر از مقدار مشخص شده، برای مثال ۳۰ سانتیمتر باشد، مدت ماندآبی در شرایط غیر نرمال بایستی کمتر از $1 = 3 - 2$ روز باشد.

زمانی که شکل (۲-۲)، (۲-۳) و (۲-۴) از نقطه نظر زراعت مورد مطالعه قرار می‌گیرد عمق مجاز ماندآبی را به دست می‌دهد. متعاقب این مطالعه بایستی بررسی کرد که آیا می‌توان مقدار آب معادل عمق ماندآبی مجاز را از مزرعه خارج ساخت یا خیر؟ عملیات یکپارچه‌سازی اراضی نه تنها شامل جابجایی اراضی بلکه تغییر شکل کرت زراعی نیز می‌باشد. معمولاً عملیات تغییر شکل با افزایش اندازه کرت زراعی به منظور دستیابی به مدیریت زراعی بهتر نظیر معرفی ماشینهای کشاورزی، کشت مستقیم برنج در شرایط اراضی خشک، تناوب بین خشکه‌زاری و شالیزاری و معرفی محصولات کشت دوم همراه است.

هر چند بزرگ کردن اندازه کرت زراعی روی قابلیت آبیاری تأثیری ندارد، با قابلیت زهکشی کرت نیز نسبتی ندارد.

بنابراین محققین آزمایشاتی را روی شکل کرت زراعی و دوره مجاز زهکشی سطحی در سطح مزرعه انجام دادند، با توجه به آزمایشات معیارهای زیر را برای کرت 30×100 متر پیشنهاد دادند:

جدول (۲-۵) مدت مجاز زهکشی سطحی در سطح مزرعه

انجام زهکشی	مدت زمان مجاز زهکشی ۱ <
۱- دوره آبیاری (الف) کاربرد علف‌کشها یا کودهای مایع (ب) مرحله جوانه‌زنی در کشت مستقیم در مزرعه شالیزاری غرقاب شده (ج) خشک کردن کرت زراعی در اواسط فصل (د) پایان آبیاری (هـ) تخلیه آب مازاد شالیزارهای غرقاب شده در یک بارندگی شدید در حالتی که عمق ماندآبی بیشتر از ۱۰ سانتیمتر باشد.	کمتر از ۱ یا ۲ روز کمتر از ۱ روز کمتر از ۲ یا ۳ روز کمتر از ۳ تا ۵ روز کمتر از ۱ تا ۲ روز

مدت زمان مجاز زهکشی <۱	انجام زهکشی
کمتر از ۱ تا ۳ روز	۲- دوره غیر آبیاری (الف) شخم زدن و کلوخه‌شکنی
کمتر از ۱ یا ۲ روز	(ب) مرحله کاشت در کشت مستقیم در حالتی که مزرعه خشک یا شرایط زهکشی خوب باشد.
کمتر از ۱ یا ۲ روز	(ج) مرحله پیش از جوانه‌زنی در کشت مستقیم در حالتی که مزرعه خشک یا شرایط زهکشی خوب باشد.
کمتر از ۱ یا ۲ روز	(د) عملیات برداشت
کمتر از ۲ یا ۳ روز	(هـ) کشت زمستانه
کمتر از ۳ تا ۵ روز	(و) عملیات شخم در فصل پاییز

ملاحظه:

۱<: مدت زمان زهکشی بایستی بلافاصله بعد از شروع تخلیه آب راکد سطحی اندازه‌گیری گردد.

با توجه به توضیحات فوق، چگونگی تعیین استانداردهای فنی مربوط به عمق مجاز ماندآبی به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

گام اول: وارितه برنجی را که بایستی طبق برنامه زراعی در منطقه پروژه کشت شود انتخاب نمایید.

گام دوم: ارتفاع گیاه را در مراحل مختلف رشد طبق روش کشاورزی استاندارد که مورد قبول کشاورزان است اندازه بگیرید.

گام سوم: دوره زمانی فصل سیلابی را مشخص سازید.

گام چهارم: تاریخ دیرترین نشاهای کشت شده را مشخص سازید.

گام پنجم: در زمان شروع فصل سیلابی ارتفاع گیاه برنجی را که دیرتر از بقیه نشاء شده است اندازه بگیرید.

گام ششم: گرافی را که نشان دهنده رابطه بین میزان کاهش محصول و مدت زمان زیر آب ماندن گیاه برنج است تهیه نمایید. اگر گراف خیلی پیچیده باشد، مرحله آبستنی وارسته پذیرفته شده را مشخص سازید و مدت زمان آن را برآورد نمایید.

گام هفتم: بررسی کنید که آیا مرحله آبستنی در فصل سیلابی واقع شده یا خیر؟

گام هشتم: اگر مرحله آبستنی در فصل سیلابی واقع شده باشد، یک عمق مجاز ماندآبی را با در نظر گرفتن ارتفاع کمتر گیاه پس از مقایسه ارتفاع گیاه محاسبه شده در مرحله پنجم و ارتفاع محاسبه شده برای برنجی که زودتر از همه کشت شده و به مرحله آبستنی هم رسیده است تعیین نمایید.

گام نهم: عمق مجاز ماندآبی را براساس میزان کاهش محصول و معیارهای داده شده در جدول (۵-۲) تعیین نمایید.

گام دهم: شکل و ابعاد کرت زراعی را تعیین نمایید به عنوان مثال یک شکل مستطیلی نظیر ۳۰×۱۰۰ متر، ۵۰×۵۰ متر، ۵۰×۱۰۰ متر و غیره.

گام یازدهم: ارتفاع مزره‌هایی را که یک کرت زراعی را از کرت دیگر جدا می‌سازد تعیین نمایید. همچنین ارتفاع مزی را که یک کرت زراعی را از یک زهکش مزرعه جدا می‌سازد براساس عمق مجاز ماندآبی برآورد شده در گام هشتم تعیین نمایید.

گام دوازدهم: کرت‌های زراعی متعددی را که دارای ابعاد ذکر شده در گام دهم هستند بسازید. آزمایشاتی روی عمق مجاز ماندآبی انجام دهید و معیارهای بهینه را انتخاب نمایید.

هر چند مهندسين آبیاری نه فقط به دانش مهندسی بلکه به اطلاعات زراعی نیز نیاز دارند تا استانداردهای فنی عمق مجاز ماندآبی را تعیین نمایند، در زمان تهیه طرح زهکشی آنها جنبه‌های زراعی را فراموش می‌کنند.

زمانی که طرحهای زهکشی تنظیم می‌شوند دو فاکتور مورد توجه قرار می‌گیرند. اولی دبی پیک و دومی الگوی رواناب یعنی تغییرات دبی نسبت به زمان. هر دو فاکتور از طریق تجزیه و تحلیل رواناب و براساس بارندگی طرح برای زهکشی محاسبه می‌شوند. دبی پیک برای حالتی به کار می‌رود که نیازی به در نظر گرفتن عملکرد ذخیره‌ای اراضی پروژه نباشد. طراحی نهر انحرافی مثالی از این حالت است. تعیین ابعاد هیدرولیکی کالورتی که از یک دره تنگ یا یک گالی عبور می‌کند مثالی دیگری است.

بایستی تأثیر برگشت آب روی خروجی نهر انحرافی مورد مطالعه قرار گیرد، زیرا زمانی که نهر انحرافی آب مازاد را به داخل رودخانه زهکشی تخلیه می‌کند تراز سطح آب در نقطه خروجی بالا می‌رود.

زمانی که عملکرد ذخیره‌ای اراضی پروژه مخصوصاً اراضی بهره‌مند در نظر گرفته می‌شود الگوی رواناب به صورت هیدروگراف ضروری است. طراحی دریاچه تخلیه یا پمپ مثالی از این حالت می‌باشد. دبی رواناب هیدروگراف با ظرفیت تخلیه دریاچه یا پمپها نسبت به زمان مقایسه می‌شود. نتایج مقایسه‌ای بایستی به صورت تراز سطح آب بین اراضی پروژه و رودخانه زهکشی یعنی تراز آب داخل و خارج بیان گردد. تراز سطح آب طراحی داخل پروژه براساس نیازهای پروژه تعیین می‌گردد در حالی که ترازهای سطح آب خارج پروژه در دسترس است. هیدروگراف ابزاری برای مقایسه انواع مختلف ترازهای سطح آب به صورت تابعی از زمان می‌باشد.

اگر تراز سطح آب داخل بالاتر از تراز سطح آب خارج باشد، زهکشی ثقلی میسر است. برعکس اگر تراز سطح آب داخل پایین‌تر از تراز سطح آب خارج در یک دوره زمانی معین سیلاب باشد، بایستی زهکشی مکانیکی یعنی زهکشی با پمپ را در نظر گرفت.

ظرفیت پمپها مستقیماً متأثر از ظرفیت ذخیره حوضه زهکشی داخلی و دوره زمانی مورد نیاز برای تخلیه آب مازاد است.

مثال محاسباتی ۲

۱۰۰ هکتار اراضی کشاورزی وجود دارد که دارای ۱۰۰ مالک می‌باشد. که همه آنها در یک روستا زندگی می‌کنند. وارितه ساسانی‌شیکي در این اراضی کشت می‌گردد. بذریاشی در ۲۰ آوریل صورت گرفته و نشاکاری با دست انجام می‌شود. نشاکاری به وسیله همه کشاورزان و به طور مشترک صورت می‌گیرد. به واسطه محدودیت نیروی کارگری موجود، آنها به ۱۰ گروه تقسیم شدند. هر گروه شامل ۱۰ کشاورز است. هر کرتی به جز کرت‌هایی که در امتداد محیط اراضی پروژه قرار دارند مستطیلی شکل هستند. کرت‌های زراعی اصولاً دارای عرض ۳۰ متر و طول ۱۰۰ متر می‌باشند. همه کرت‌ها به کانال زهکشی و کانال آبیاری ارتباط دارند. ارتفاع مرز بین دو کرت ۳۰ سانتیمتر است و همچنین ارتفاع مرز بین کرت و نهر زهکشی ۳۰ سانتیمتر می‌باشد. ارتفاع مرز براساس ارتفاع گیاه برنج و آزمایش مربوط به دوره زمانی مورد نیاز برای تخلیه آب راکد سطحی از کرت زراعی تعیین می‌گردد.

هر چند کشاورزان انتظار دارند که شرایط جوی مناسب تداوم داشته باشد، بارندگی در اول ژوئن اتفاق افتاد و نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به منطقه پروژه میزان بارندگی را ۱۰۰ میلیمتر در یک روز گزارش داد. کشاورزان فعالیت هم آهنگی را جهت محافظت اراضی شالیزاری و تأسیسات زهکشی از این بارندگی شدید براساس قوانینی که قبل از شروع عملیات یکپارچه‌سازی اراضی وضع کردند اتخاذ نمودند. مقدار آبی را که می‌توان در اراضی شالیزاری ذخیره نمود محاسبه نمایند.

میزان دبی حاصل از رواناب مستقیم اراضی شالیزاری را وقتی که کشاورزان تخلیه آب راکد سطحی را پس از وقوع بارندگی سنگین انجام دادند با شرط آنکه بتوان از میزان آب ذخیره شده در کانال‌های آبیاری و زهکشی در زمان بارندگی سنگین صرف‌نظر کرد محاسبه نمایند.

حل

در ابتدا بایستی ارتفاع گیاه را صرفنظر از ارتفاع مرز در نظر گرفت، زیرا کشاورزان شکافی را در مرز به عنوان سرریز تعبیه نمودند که کرت زراعی را از زهکش مزرعه جدا می‌سازد و به منظور کنترل عمق ماندآبی داخل کرت می‌باشد.

با استفاده از شکل (۲-۲) می‌توان رشد برنج وارپته ساسانیشیکی را تخمین زد. با توجه به شرایط داده شده، کشاورزان بذراپی را در بیستم آوریل آغاز نمودند. حدس زده می‌شود که شروع نشاء زمانی که ارتفاع آن ۱۲ سانتیمتر است یعنی ۱۰ می صورت گیرد که تا اول ژوئن ارتفاع آن به ۲۲ سانتیمتر خواهد رسید. به عبارت دیگر در خلال سه هفته، گیاه ۱۰ سانتیمتر رشد خواهد کرد.

به منظور داشتن رشد یکنواخت برنج، کشاورزان بایستی شکافی در مرز کنار زهکش به گونه‌ای ایجاد کنند که عمق ماندآبی در داخل کرت ۱۰ سانتیمتر باقی بماند. اگر وارپته ساسانیشیکی در دهم می نشاء شود در بیستم می پنجه‌زنی شروع می‌گردد. مطابق شکل (۲-۲) بارندگی شدید در اول ژوئن مصادف با اواسط دوره پنجه‌زنی می‌باشد.

قوانینی که برای زهکشی به کار برده می‌شود براساس شکل (۲-۴) می‌باشد. با دقت در شکل، دوره مجاز آب‌گرفتگی کمتر از ۲ روز می‌باشد که با توجه به بند (ه) قسمت ۱ جدول (۲-۵) تأیید می‌گردد.

کشاورزان در تاریخ دهم می نشاکاری برنج را به اتمام رساندند و سرریز خروجی موجود در مرز را با گل مسدود کردند به گونه‌ای که ارتفاع آب داخل کرت برابر ارتفاع گیاه ۲۲ سانتیمتر می‌گردد. این بدان معنی است که حتی اگر مرزها با ارتفاع ۳۰ سانتیمتر ساخته شوند، کرت‌های زراعی که در تاریخ دهم می نشاکاری در آنها انجام گرفته قادر به ذخیره آب در داخل کرت تا ارتفاع ۳۰ سانتیمتر نخواهند بود. در این زمان، ارتفاع خالص جهت ذخیره برابر است با:

(سانتیمتر) $۱۲ = ۲۲ - ۱۰ =$ عمق آب - ارتفاع گیاه

با توجه به شرایط داده شده نشاکاری توسط ۱۰ گروه صورت می‌گیرد که هر گروه شامل ۱۰ کشاورز است. به طور تجربی هر ۱۰ نفر ۰/۷۵ هکتار را در روز نشاء می‌کنند. کل اراضی شالیزاری روستا ۱۰۰ هکتار است. بنابراین می‌توان زمان خاتمه نشاکاری را محاسبه نمود.

$$\frac{100}{7.5} \frac{(ha)}{(ha/day)} + 10 = 25 \text{ می}$$

طبق تقویم نشاکاری، آخرین گروه، در تاریخ ۲۵ می نشاکاری می‌شود که با توجه به شکل (۲-۲) ارتفاع آن ۱۷ سانتیمتر است. معمولاً کشاورزان خزانه‌ای تهیه می‌کنند که بتواند نشاء همه کرتها را تأمین نماید.

زمانی که بارندگی سنگین در منطقه به وقوع می‌پیوندد این گروه از نشاهای برنج در مرحله ریشه‌زنی هستند.

با بررسی شکل (۲-۲)، می‌توان دریافت که رشد گیاه برنج در این دوره ده روزه (ریشه‌زنی) ۳ است. از ۲۵ می تا اول ژوئن آخرین گروه نشاها دارای رشد ارتفاعی در حدود ۲ سانتیمتر خواهند بود.

$$\frac{3(cm)}{10(days)} \times 7(days) = 2.1(cm) \cong 2(cm)$$

ارتفاع آخرین گروه نشاها برابر است با:

$$۱۷ + ۲ = ۱۹ \text{ (سانتیمتر)}$$

چون نه شکل (۲-۳) و نه شکل (۲-۴) به میزان کاهش محصول در مرحله ریشه‌زنی اشاره‌ای نداشته‌اند، می‌توان قضاوت کرد که زیر آب رفتن گیاه برنج در این مرحله روی رشد گیاه برنج تأثیر جدی نخواهد گذاشت. بنابراین حدس می‌زنیم که کشاورزان با استفاده از تیرهای چوبی و گل شکاف موجود در مرز را می‌بندند به گونه‌ای که نشاهای کشت شده در ۲۵ می در اثر بارندگی شدید زیر آب می‌روند. چون در زمان نشاکاری، کشاورزان عمق آب داخل کرت را در حد ۱۰ سانتیمتر نگه می‌دارند، ارتفاع خالص جهت ذخیره آب مازاد برابر است با:

$$(\text{سانتیمتر}) \quad 9 = 10 - 19 = (\text{عمق آب راکد سطحی}) - (\text{ارتفاع گیاه})$$

نهایتاً می‌توان ظرفیت ذخیره‌ای را که برای بارندگی شدید اول ژوئن متصور شد محاسبه نمود.

$$\frac{12(cm) + 9(cm)}{20} \times \frac{1(m)}{100(cm)} \times 100(ha) \times 100(m) \times 100(m) = 105000(m^3)$$

بعد از اینکه بارش سنگین در منطقه به پایان رسید، همه کشاورزان جهت تخلیه آب مازاد، سرریز خروجی هر کرت را مجدداً تنظیم می‌کنند. با ملاحظه پی‌نوشت جدول (۵-۲)، مدت زمان زهکشی بایستی بلافاصله پس از شروع تخلیه آب راکد سطحی اندازه‌گیری شود. با توجه به بند مربوط به این مورد در جدول (۲-۵) مدت زمان زهکشی بایستی کمتر از یک یا دو روز باشد.

در حالت زهکشی یک روزه، رواناب مستقیم از شالیزار

$$\frac{105000(m^3)}{24 \times 60 \times 60} = 1.215(m^3 / \text{sec})$$

محاسبه می گردد.

در حالت زهکشی دو روزه، رواناب مستقیم از شالیزار

$$\frac{105000(m^3)}{24 \times 2 \times 60 \times 60} = 0.608(m^3 / \text{sec})$$

محاسبه می گردد.

در هر دو حالت از میزان تبخیر و تعرق صرفنظر گردیده است.

فصل سوم

زهکشی زیرزمینی

۱-۳- زهکشی عادی

هدف از زهکشی عادی تخلیه رواناب ناشی از آبهای زیرزمینی و زهکشی زیرزمینی در داخل یک حوضه زهکشی است. گاهی اوقات نیز در برگیرنده تخلیه جریان ورودی از خارج منطقه پروژه نظیر فاضلاب مناطق روستایی یا شهری می‌باشد.

پروژه‌های معمول، در شرایطی شکل می‌گیرند که زهکشی عادی بایستی در محدوده ظرفیت شبکه‌های زهکشی که نسبت به دبی سیلاب طرح طراحی شده‌اند طراحی گردند. مادامی که دبی زهکشی مورد توجه قرار می‌گیرد، تناقضی بین زهکشی عادی و زهکشی سیلاب وجود ندارد. مقدار نفوذ عمقی در سطح مزرعه در خلال دوره آبیاری ۲۰ میلیمتر در روز است که در استانداردهای فنی ژاپن پیشنهاد شده است (البته این مقدار در شالیزارهای شمال کشور که دارای بافت خاک سنگینی هستند ۱ تا ۲ میلیمتر در روز است) که می‌توان آن را به صورت $\frac{2}{3}$ لیتر در ثانیه در هکتار بیان نمود. اگر مساحت اراضی پروژه ۱۰۰ هکتار باشد دبی زهکشی زیرزمینی برابر است با: $230 = 100 \times \frac{2}{3}$ لیتر در ثانیه. حال آنکه همان‌گونه که در مثال محاسباتی ۲ ذکر شده، رواناب مستقیم از شالیزار با توجه به بارندگی شدید ۱۰۰ میلیمتر در روز برابر ۱۲۱۵ لیتر در ثانیه می‌باشد. به نظر می‌رسد که شرایطی که کشاورزان می‌توانند زهکشی عادی را در محدوده ظرفیت سازه‌های زهکشی طراحی شده برای زهکشی سیلاب مدیریت کنند مناسب است.

عملکرد زهکشی به تخلیه دبی طرح از یک حوضه زهکشی داخلی به یک رودخانه زهکشی محدود نمی‌گردد و شامل فاکتور مهم دیگر یعنی کنترل تراز سطح آب است. این تراز سطح آب بایستی برای رابطه بین تراز سطح آب داخل و خارج در سیلاب طرح

در زهکشی سیلاب از یک طرف و برای تراز سطح آب زیرزمینی بهینه در سطح مزرعه در خلال دوره آبیاری در زهکشی عادی از طرف دیگر مورد مطالعه قرار گیرد.

۲-۳- توقعات کشاورزان برای زهکشی داخل مزرعه

زهکشی عادی به طور انحصاری به زهکشی در سطح مزرعه بستگی دارد. زمانی که کشاورزان زهکشی زیرزمینی را در کرت‌های زراعی‌شان به کار می‌برند انتظار دارند تا به موارد زیر دست یابند:

(۱) اثرات مثبت خشک کردن خاک مانند اکسیداسیون

(۲) معرفی محصولات زمستانه

(۳) حفظ رطوبت مناسب برای محصول

(۴) بالا بردن ظرفیت تحمل‌پذیری خاک

(۵) افزایش دمای خاک

(۶) بهبود نفوذپذیری خاک

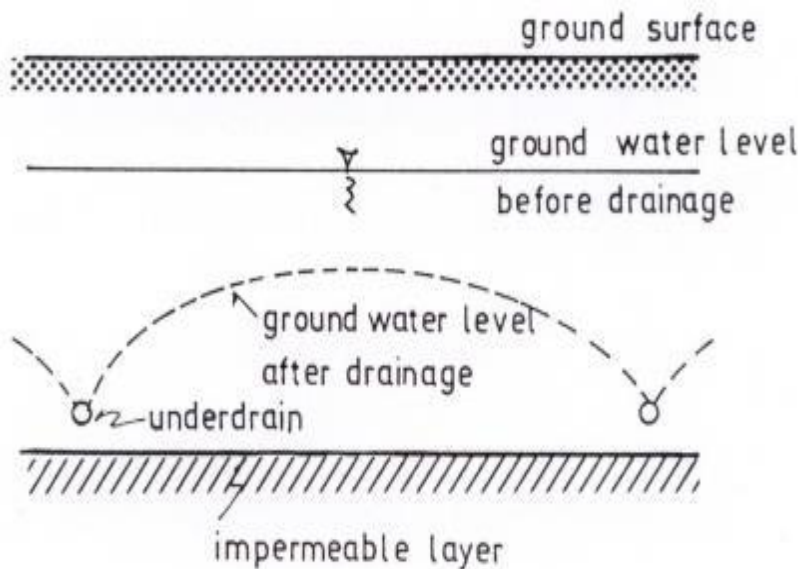
۳-۳- اعماق زهکش‌های زیرزمینی در سطح مزرعه

با دقت بیشتر در توقعات کشاورزان، می‌توان موارد فوق را به دو گروه تقسیم‌بندی کرد. گروه اول به کارآیی مزرعه بستگی دارد و گروه دوم به محصولاتی که کشاورزان می‌خواهند در سطح مزرعه کشت کنند بستگی دارد.

برای گروه اول، محققین گزارش دادند که سطح آب زیرزمینی مورد نیاز برای بهره‌برداری آسان از ماشین‌آلات کشاورزی، در خاکهای شنی بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ متر پایین‌تر از سطح زمین و در خاکهای رسی بین ۰/۴ تا ۰/۵ متر باشد.

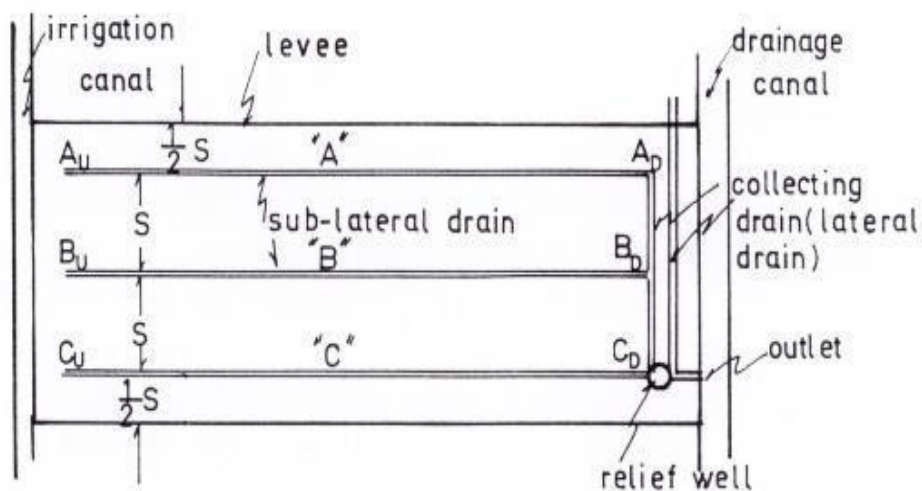
برای گروه دوم که به سطح آب زیرزمینی مناسب برای محصولات مرتبط است، محققین توصیه کردند که بایستی براساس توسعه ریشه‌های گیاه تعیین گردد. در شالیزار، توسعه ریشه گیاهان کشت دوم بین ۰/۶ الی ۰/۷ متر هم می‌رسد. با در نظر گرفتن غلات

زمستانه نظیر گندم و جو سطح آب زیرزمینی بایستی بین ۰/۵ تا ۰/۷ متر حفظ گردد. به منظور حفظ تراز سطح آب مورد نیاز، بایستی زهکشهای زیرزمینی را در ناحیه عمیق‌تری کار گذاشت.

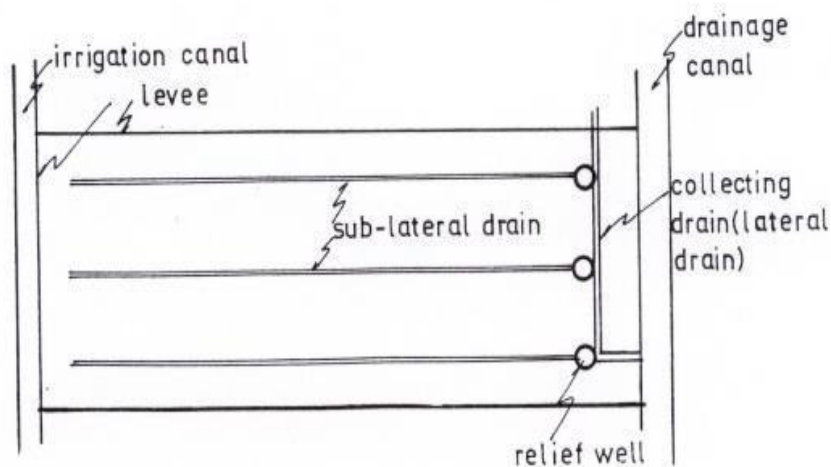


شکل (۱-۳) سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر زهکشهای زیرزمینی

فاصله بین سطح زمین تا سطح آب زیرزمینی دو الی سه روز بعد از بارندگی اندازه‌گیری می‌شود که موازی سطح زمین است (شکل (۱-۳)). نصب زهکشهای زیرزمینی سطح آب زیرزمینی را پایین‌تر می‌برد. هر چند، به خاطر تأثیر زهکشهای زیرزمینی سطح آب زیرزمینی از حالت صفحه‌ای به صورت محدب در می‌آید. نهایتاً، پیشنهاد می‌کنند که زهکشهای زیرزمینی بایستی در اعماق یک الی ۱/۲ متری زیر سطح زمین کار گذاشته شوند. اصطلاحاتی که در شبکه زهکشی زیرزمینی در سطح مزرعه به کار می‌رود در زیر آورده شده است:



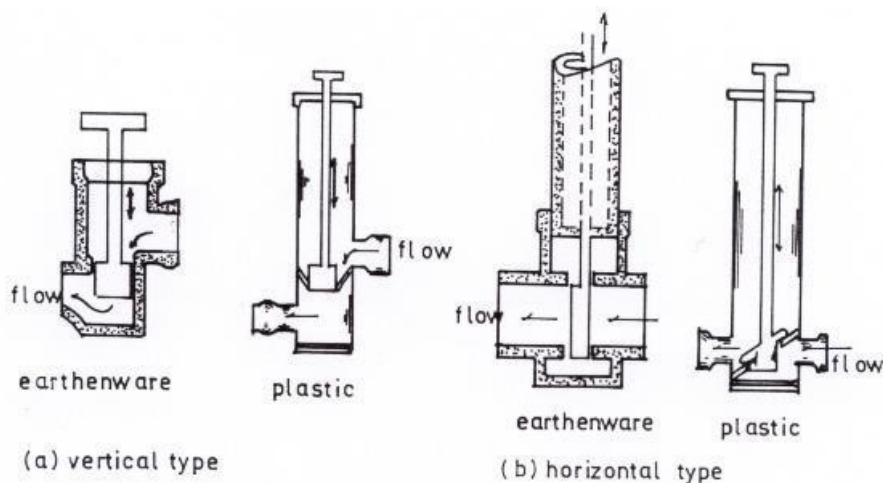
شکل (۳-۲) شبکه زهکشی در سطح مزرعه- از نوع چاهک کنترل واحد



شکل (۳-۳) شبکه زهکشی در سطح مزرعه- از نوع چاهکهای کنترل مستقل

در اشکال فوق، عبارت "چاهک کنترل" مشاهده می‌گردد، توضیحاتی درباره آن ارائه می‌شود:

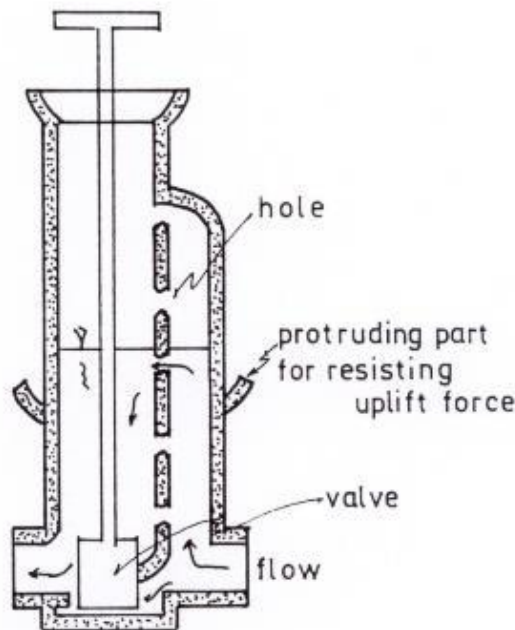
چاهک کنترل سازه یا وسیله‌ای است که به منظور تنظیم سطح آب زیرزمینی، جلوگیری از هجوم آب و تخلیه رسوبات ته‌نشین شده در زهکش‌های زیرزمینی به کار برده می‌شود. بنابراین در قسمت رابط بین زهکش زیرزمینی جانبی و زهکش جمع‌کننده (زهکش جانبی) یا در وسط زهکش جمع‌کننده نصب می‌گردد. به جز برای چاهک کنترلی که وظیفه آن تنظیم‌تر از سطح آب زیرزمینی است، می‌توان آن را به دو نوع تقسیم‌بندی کرد. نوع اول چاهک کنترل افقی است که در نقطه‌ای نصب می‌شوند که دو زهکش به طور افقی به یکدیگر متصل می‌گردند. که از نوع "باز- بسته" می‌باشد. باید متذکر شد که نمی‌توان دبی زهکش زیرزمینی را در یک زهکش کنترل کرد. نوع دوم چاهک کنترل عمودی است که به صورت یک دراپ می‌باشد. به واسطه اختلاف ارتفاع، این نوع چاهک در جایی نصب می‌گردد که رابط بین زهکش واقع شده در کرت بالادست و زهکش دیگری که در کرت پایین‌دست واقع شده می‌باشد و از نوع "باز- بسته" می‌باشد یعنی نمی‌توان دبی را تنظیم کرد.



شکل (۳-۴) چاهک‌های کنترل افقی و عمودی

هیچ یک از چاهک‌های کنترل عمودی و افقی نمی‌توانند تراز سطح آب زیرزمینی را کنترل نمایند. به منظور تنظیم آن، یک چاهک کنترل از نوع جریان سرریزی توسعه یافت. این نوع چاهک کنترل مجهز به مکانیزم سرریز جریان داخل لوله می‌باشد. حرکت رو به بالا و پایین شیر تراز آب را تغییر می‌دهد. چندین سوراخ که به صورت روزنه عمل می‌کنند در قسمت ورودی چاهک تعبیه شده‌اند. چنانچه تراز سطح آب از یک روزنه از پیش تعیین شده بالاتر رود، افزایش تراز سطح آب متوقف می‌گردد.

کشاورزان می‌توانند تراز سطح آب زیرزمینی را با انتخاب یک ارتفاع مناسب روزنه کنترل نمایند. اگر آنها شیر را به طور کامل بالا ببرند، می‌توانند از این چاهک کنترل به صورت چاهک کنترل افقی استفاده نمایند. شکل شماتیک آن در زیر نشان داده شده است:



شکل (۳-۵) چاهک کنترل از نوع سرریزی

اگر سیستم زهکشی داخل مزرعه خوب کار کند می‌توان از شالیزارها هم برای تولید برنج و هم برای محصولات خشکه‌زاری استفاده نمود. مثالی از اعماق مورد نیاز زهکشهای زیر زمینی برای رشد محصولات خشکه‌زاری ارائه می‌گردد. زهکش‌های زیرزمینی که در اینجا بدان اشاره شد مربوط به زهکشهای زیرزمینی جانبی است زیرا این زهکشها در داخل مزرعه و به منظور جمع‌آوری آب مازاد خاک و انتقال آن به زهکش جانبی که آن را "زهکش جمع‌کننده" می‌نامیم نصب شده‌اند.

جدول (۳-۱) اعماق زهکشهای زیرزمینی جانبی برای محصول خشکه‌زاری

نوع محصول	عمق زهکشهای زیرزمینی جانبی (m)
گیاهان مرتعی	۱
یولاف، چاودار، سیب‌زمینی	از ۱/۲ تا ۱/۳
جو، چغندر قند	از ۱/۳۵ تا ۱/۵
نخود	از ۱/۴ تا ۱/۵
رازک، درخت مو	از ۱/۸ تا ۲

اگر فاصله عمودی بین خط واصل زهکشها تا بالاترین نقطه سطح ایستایی را برای برنج بین ۰/۴ تا ۰/۵ متر در نظر بگیریم در می‌یابیم که عمق توسعه ریشه‌های محصولات خشکه‌زاری با توجه به جدول فوق بیشتر از برنج می‌باشد.

اختلاف بین طول ریشه برنج و محصولات خشکه‌زاری نکته مهمی را بیان می‌کند که محصولات خشکه‌زاری یک شخم عمیق را انجام دهند.

موقعی که زهکشهای زیرزمینی داخل مزرعه نصب شد، خاک کاملاً به هم می‌خورد زیرا ساخت ترانشه‌های عمیق باعث اختلاط خاک می‌گردد. بنابراین کشاورزان از اینکه نفوذ عمقی در امتداد مسیر ترانشه افزایش می‌یابد خشنود می‌گردند. بنابراین آنها شروع به استفاده از ماشینهای کشاورزی روی سطح زمین می‌کنند. چند سال بعد درمی‌یابند که

خاک سخت‌تر شده است. ساختمان سخت شده خاک با نصب زهکشهای زیرزمینی تکمیلی نظیر زهکشهای لانه موشی یا زیرشکنی خاک اصلاح می‌گردد.

اگر به عملکرد شخم عمیق توجه داشته باشیم، نیازی به استفاده از روشهای مصنوعی نخواهد بود زیرا به انرژی زیاد نیاز است که مستقیماً روی سوددهی مزرعه اثرگذار است. در عوض، امکان استفاده از نیروی طبیعی یعنی رشد ریشه‌ها را مورد بحث قرار می‌دهیم. کشاورزان و مهندسانی که درگیر کشت آلی هستند دریافتند که با گذشت زمان خاک نرم‌تر می‌گردد. حتی اگر یک روش بدون شخم یا روش شخم جزئی را اتخاذ کنند، خاک سخت نمی‌شود. برعکس آنها دریافتند که خاک به تدریج نرم می‌شود زیرا گیاهان خودشان خاکها را در اعماق شخم می‌زنند.

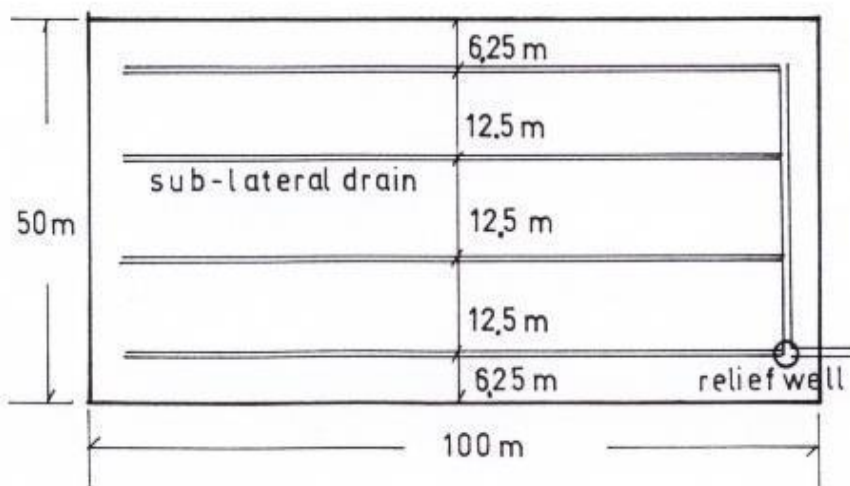
مهندسين آبياري خاک را به صورت یک توده مواد معدنی در نظر می‌گیرند زمانی که آنها یک مدل را ایجاد می‌کنند مجبور هستند که روابط میکروبی بین خاک و گیاه را حذف کنند. زمانی که آنها به مزرعه می‌روند این فرصت را دارند که فعالیت گیاهان را مشاهده نمایند.

۴-۳- فواصل زهکش‌های زیرزمینی در سطح مزرعه

فرمول‌های زیادی توسط محققین برای تعیین فاصله زهکش‌ها ارائه شده است. بهترین روش، انتخاب یک مزرعه و احداث زهکشهای زیرزمینی در فواصل مختلف و در نهایت تعیین فواصل مناسب است. فواصل طراحی را نمی‌توان از جهت فنی تعیین نمود. این فواصل تحت تأثیر هزینه‌های اجرا قرار دارند. فواصل کمتر باعث اثربخشی مطمئن‌تر و هزینه‌های بیشتر می‌گردد. علاوه بر آن بایستی سهولت نصب زهکشهای زیرزمینی در سطح مزرعه را در نظر گرفت. با یک مثال، آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

فرض کنید مزرعه‌ای به طول ۱۰۰ متر و عرض ۵۰ متر موجود است. بایستی فاصله زهکشهای زیرزمینی را براساس نتیجه آزمایشات در امتداد عرض آن تعیین نمود. با فرض

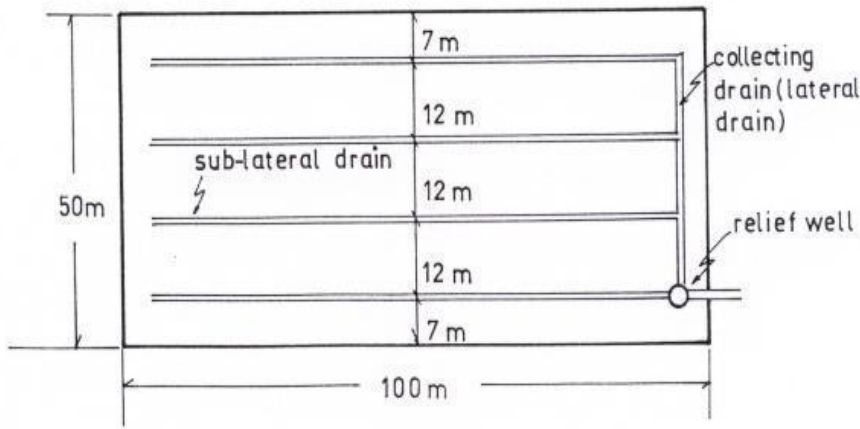
اینکه نتیجه آزمایشات فاصله مناسب را ۱۲ متر نشان داده، تعداد زهکشهای جانبی مورد نیاز را محاسبه می‌نماییم. $۴ = ۱۲ \div ۵۰$. هر چند نمی‌توان در این محاسبه فاصله زهکشهای جانبی را به صورت عدد صحیح در نظر گرفت بنابراین، $۱۲.۵ = \frac{۵۰}{۴}$ متر است. اگر روی این مقدار پافشاری داشته باشیم، نقشه آن به صورت زیر خواهد شد.



شکل (۳-۶) آرایش زهکش‌های زیرزمینی جانبی در حالتی که فاصله زهکش‌ها ۱۲/۵ متر باشد.

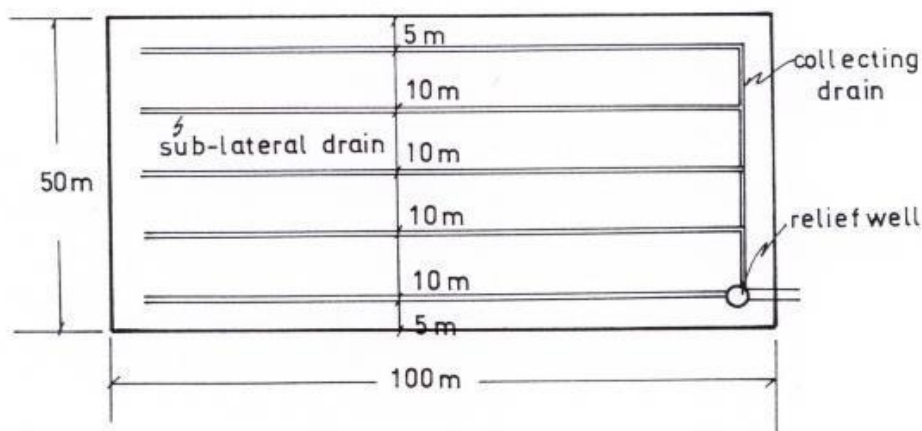
اگر نتایج آزمایشات را قبول داشته باشیم، می‌توان آرایش زهکشهای نشان داده شده در شکل (۳-۶) را پذیرفت. آیا مشکلی وجود دارد؟ "بله" دارد. در حقیقت چگونه می‌توان خطی با فاصله ۶/۲۵ متر را روی زمین علامتگذاری کرد؟ آیا به این سانتیمترها نیاز است؟ و چه مدت کشاورزان قادرند این آرایش را به خاطر بسپارند؟ زمانی که زهکشها مسدود شدند نیاز به بازسازی آنها می‌باشد. آنها بایستی موقعیت زهکشهای زیرزمینی را مشخص و محل زهکشها را حفاری نمایند. کندن ترانشه‌ها نیازمند زمان و نیروی کارگری زیاد می‌باشد. اگر نقطه رابط بین زهکش زیرزمینی جانبی و زهکش جمع‌کننده مجهز به چاهک کنترل باشد، بخشی از آن روی سطح زمین قرار می‌گیرد که نشانه خوبی است.

چنانچه به واسطه کاهش هزینه‌ها و سهولت تردد در داخل کرت تعداد چاهکهای کنترل به یک عدد محدود گردد (شکل (۴-۱۱))، تشخیص موقعیت مکانی زهکشهای زیرزمینی جانبی به جز زهکش مجهز به چاهک کنترل مشکل خواهد بود. با در نظر گرفتن این مشکلات، مثالی از آرایش دیگر با اهمیت دادن بیشتر به وضوح علائم روی سطح زمین ارائه می‌گردد.



شکل (۳-۷) آرایش زهکشهای زیرزمینی جانبی در حالتی که فاصله زهکشها به صورت عدد صحیح بیان گردد.

آرایش شکل (۷-۳) با هدف کاهش مشکلات احداث زهکشهای زیرزمینی جانبی تهیه شده است. بنابراین پیمانکاران شکایتی از فاصله زهکشها نخواهند داشت، در حالی که مالک زمین بایستی نقشه‌ها را جهت بازسازی زهکشهای زیرزمینی نگهدارد، زیرا فاصله اولین زهکش جانبی تا مرز ۷ متر است (بیشتر از ۶ متر). اگر مجبور به احداث زهکشهای زیرزمینی جانبی با شعاع تأثیر مساوی باشیم، بایستی تعداد زهکشهای زیرزمینی را به صورت زیر افزایش دهیم:



شکل (۳-۸) آرایش زهکشهای زیرزمینی در حالت فواصل یکسان

تعداد زهکشهای زیرزمینی از ۴ به ۶ افزایش می‌یابد. علیرغم افزایش هزینه‌ها، کشاورزان به آسانی قادرند تا فاصله ۵ متر را در خاطر بسپارند. انتخاب آرایش شکل (۳-۷) و (۳-۸) به کشاورزان بستگی دارد. مثالی از فاصله زهکشها براساس نوع خاک در زیر ارائه می‌گردد.

جدول (۳-۲) فواصل پیشنهادی دکتر گرهارد برای زهکشهای زیرزمینی جانبی

نوع خاک	درصد کلونیدهای خاک < ۱	اراضی پست با شیب تا $\frac{1}{250}$	اراضی شیبدار با شیب بیش از $\frac{1}{250}$
۱- رس سنگین	از ۵ تا ۱۰	از ۸ تا ۱۰ متر	از ۸ تا ۱۲ متر
۲- رس معمولی	از ۱۰ تا ۲۰	از ۱۰ تا ۱۲ متر	از ۱۰ تا ۱۵ متر
۳- لوم سنگین	از ۲۰ تا ۳۰	از ۱۲ تا ۱۴ متر	از ۱۲ تا ۱۸ متر
۴- لوم معمولی	از ۳۰ تا ۴۰	از ۱۴ تا ۱۶ متر	از ۱۴ تا ۲۱ متر
۵- لوم شنی	از ۴۰ تا ۵۰	از ۱۶ تا ۲۰ متر	از ۱۷ تا ۲۵ متر
۶- شن لومی	از ۵۰ تا ۷۵	از ۲۰ تا ۲۴ متر	از ۲۱ تا ۳۰ متر
۷- شن سبک	بیش از ۷۵	از ۲۴ تا ۳۰ متر	از ۲۵ تا ۳۵ متر

ملاحظه:

- ۱ < قطر ذرات کلوئیدهای خاک کمتر از 0.001 میلیمتر است.
- ۲ < زهکش‌های زیرزمینی به موازات جریان آبهای زیرزمینی یعنی عمود بر خطوط جریان نصب می‌گردند. اگر لایه نفوذپذیر وجود دارد و زهکشهای زیرزمینی جانبی به صورت بخشی از یک زهکش طبیعی استفاده شده باشد می‌توان فواصل زهکشها را افزایش داد.
- ۳ < زهکش‌های زیرزمینی جانبی با زاویه 90° درجه نسبت به جریان آبهای زیرزمینی و به موازات خطوط کنتوری نصب می‌گردند.

چنانچه بخشی از آب مازاد به صورت ثقلی زهکشی گردد، فواصل زهکش‌های زیرزمینی جانبی قابل افزایش است. رابطه بین عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی به صورت مثال زیر ارائه می‌گردد.

جدول (۳-۳) رابطه بین عمق و فاصله زهکشهای زیرزمینی جانبی

نوع خاک	عمق سطح ایستابی (m)	عمق زهکش زیرزمینی جانبی (m)	فاصله زهکشهای زیرزمینی جانبی (m)
رس خیلی ریز	کمتر از ۱/۵	۲/۱	۱۲
	از ۱/۵ تا ۲/۱	-	۱۲
	بیش از ۲/۱	۰/۶	۹
رس ریز معمولی	کمتر از ۱/۵	۱/۸	۱۵
	بیش از ۱/۵	۰/۷۶	۱۲
رس معمولی	کمتر از ۱/۵	۱/۵	۱۸/۲
	بیش از ۱/۵	۰/۹	۱۵/۰
رس حاوی شن ریز با دانه بندی یکنواخت	کمتر از ۱/۵	۱/۵	۲۱/۲
	بیش از ۱/۵	از ۰/۹ تا ۱/۱	۱۸/۲
	-	-	-
	-	-	-
خاکهای سنگین با ساختمان خاکدانه ای	کمتر از ۱/۵	۱/۵	از ۲۴/۲ تا ۳۰/۳
	بیش از ۱/۵	از ۱/۱ تا ۱/۲	از ۲۱/۲ تا ۲۴/۲
	-	-	-
خاکهای چسبنده	کمتر از ۱/۵	۱/۵	از ۳۸ تا ۴۵/۴
	بیش از ۱/۵	۱/۲	از ۳۰/۳ تا ۳۸
خاکهای شنی	-	از ۱/۲ تا ۱/۵	از ۴۵/۴ تا ۷۶

۵-۳- شیب و سرعت جریان در زهکشهای زیرزمینی

چون زهکشهای زیرزمینی برای جمع آوری آب مازاد خاک نصب می شوند، هوموس، مواد آلی و خاکهای ریز دانه وارد زهکش ها می گردد. به منظور تخلیه رسوبات از زهکشهای زیرزمینی شیب ملایمی برای زهکشها در نظر گرفته می شود. شیب بیش از ۱۰٪ ورود

ذرات خاک را به داخل زهکشهای زیرزمینی افزایش می‌دهد. بنابراین حداقل سرعتی که زهکشهای زیرزمینی را از رسوبگذاری محفوظ می‌دارد به طور آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به آزمایش، حداقل سرعت برای زهکش زیرزمینی جانبی و جمع‌کننده برابر $0/225$ متر بر ثانیه برآورد شده است. در ژاپن، شیب طولی زهکشهای زیرزمینی جانبی را به منظور تسهیل در امر طراحی مشروط بر آنکه سرعت جریان در دبی حداکثر زهکشی زیرزمینی بین $0/2$ تا 1 متر بر ثانیه باشد از $\frac{1}{100}$ تا $\frac{1}{600}$ در نظر می‌گیرند و همان شیب را برای زهکشهای جمع‌کننده اعمال می‌کنند.

مثال محاسباتی ۳

فرمول محاسبه سرعت و دبی را در زهکش‌های زیر زمینی بدست آورید.

حل

با فرض اینکه زهکش زیر زمینی دارای مقطع دایره‌ای است فرمول قابل استفاده برای لوله‌ها را به کار می‌بریم.

سرعت متوسط V در لوله‌ها با فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$V = \sqrt{\frac{8}{f}} \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot I} \quad (\text{الف})$$

که:

f : ضریب افت اصطکاکی

I : گرادیان هیدرولیکی

R : شعاع هیدرولیکی

چنانچه طول لوله را با ℓ نشان دهیم افت اصطکاکی برابر است با:

$$h = \ell \times I \quad (\text{ب})$$

$$V^2 = \frac{8}{f} \cdot g \cdot R \cdot I$$

بنابراین:

$$I = \frac{V^2 \cdot f}{8gf} \quad (\text{ج})$$

با جاگذاری فرمول (ج) در فرمول (ب) خواهیم داشت:

$$h = \ell \times \frac{V^2 \cdot f}{8gR} \quad (\text{د})$$

در لوله‌های با مقطع دایره‌ای، $R = \frac{D}{4}$ که D قطر لوله است.

با جاگذاری $R = \frac{D}{4}$ در فرمول (د) خواهیم داشت:

$$h = \ell \times \frac{V^2 \cdot f}{8g} \times \frac{4}{D} = \ell \times \frac{f \cdot V^2}{2gD}$$

$$V^2 = \frac{h \times 2gD}{f \cdot \ell}$$

$$V = K \cdot \sqrt{D \cdot \frac{h}{\ell}} \quad (\text{هـ})$$

که:

$$K = \sqrt{\frac{2g}{f}}$$

برای محاسبه دبی فرمول زیر را به کار می‌بریم:

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 V$$

که:

Q دبی جریان است. پس:

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \times K \cdot \sqrt{D \cdot \frac{h}{\ell}} \quad (z)$$

با استفاده از فرمول عمومی (ه)، برخی محققین فرمول‌های زیر را ارائه دادند:

فرمول گیسلر

$$V = 20 \times \sqrt{d \cdot \frac{h}{\ell}} \quad (3-1)$$

که d قطر لوله است.

فرمول بازن

$$V = K \sqrt{d \cdot \frac{h}{\ell}} \quad (3-2)$$

که:

$$K = \frac{43/5}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{d}}}, \gamma = 0.235 \quad (3-3)$$

فرمول کوتر

$$V = K \sqrt{d \cdot \frac{h}{\ell}} \quad (3-2)$$

که:

$$K = \frac{50 \times \sqrt{d}}{2m + \sqrt{d}} \quad (3-4)$$

$$m = 0.3$$

V : سرعت جریان در زهکشهای زیرزمینی (متر بر ثانیه)

d : قطر لوله‌های زهکشی (متر)

h : اختلاف ارتفاع بین نقطه شروع و پایان زهکش زیرزمینی (متر)

مثال محاسباتی ۴

مقدار K فرمول (۳-۲) را برای لوله‌های با قطر زیر محاسبه نمایید.

قطر لوله (mm)										زهکش‌های زیرزمینی
۱۸۰	۱۶۰	۱۵۰	۱۳۰	۱۰۰	۸۰	۷۵	۶۵	۵۰	۴۰	

حل

برای فرمول گیسلر، مقدار K برای تمام قطرهای برابر ۲۰ می‌باشد. برای روشهای دیگر از

فرمول (۳-۳) و (۳-۴) استفاده می‌گردد.

۱۸۰	۱۶۰	۱۵۰	۱۳۰	۱۰۰	۸۰	۷۵	۶۵	۵۰	۴۰	قطر (mm)
۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۷۵	۰/۰۶۵	۰/۰۵	۰/۰۴	قطر (m)
۰/۴۲۴	۰/۴	۰/۳۸۷	۰/۳۶۱	۰/۳۱۶	۰/۲۸۳	۰/۲۷۴	۰/۲۵۵	۰/۲۲۴	۰/۲	$\sqrt{d}$
$K = \frac{43.5}{1 + \frac{2 \times 0.235}{\sqrt{d}}}$										بازن
۲۰/۶	۲۰	۱۹/۷	۱۸/۹	۱۷/۵	۱۶/۳	۱۶	۱۵/۳	۱۴	۱۳	

$K = \frac{50 \times \sqrt{d}}{2 \times 0.3 + \sqrt{d}}$										کوثر
۲۰/۷	۲۰	۱۹/۶	۱۸/۸	۱۷/۳	۱۶	۱۵/۷	۱۴/۹	۱۳/۶	۱۲/۵	
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	گیسلر

اگر مقدار $V_{\min}$ را برای فرمول (۳-۱) برابر ۰/۲۲۵ متر بر ثانیه برآورد نمائیم می‌توان رابطه بین قطر یک لوله زهکشی و شیب آن را بدست آورد:

$$0.225 = 20 \times \sqrt{d \times \frac{h}{\ell}}$$

$$d \times \frac{h}{\ell} = \left(\frac{0.225}{20} \right)^2 = 1.266 \times 10^{-4}$$

$$\frac{h}{\ell} = \frac{1.266 \times 10^{-4}}{d}$$

برای مثال اگر d را برابر ۰/۰۴ متر قرار دهیم:

$$\frac{h}{\ell} = \frac{1.266 \times 10^{-4}}{0.04} = 0.0032 = 0.32(\%)$$

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \times K \cdot \sqrt{D \times \frac{h}{\ell}} = \frac{3.14}{4} \times (0.04)^2 \times 20 \times \sqrt{0.04 \times 0.0032}$$

$$= 0.00028(m^3 / \text{sec}) = 0.28(\text{litre} / \text{sec})$$

که در آن K ضریب گیسلر برابر ۲۰ می باشد.
در جدول زیر رابطه بین قطر و حداقل شیب لوله زهکشی ارائه شده است.

جدول (۳-۴) رابطه بین قطر و حداقل شیب لوله زهکشی در حالتی که $V_{\min}$ برابر ۰/۲۲۵ متر بر ثانیه باشد.

قطر لوله (mm)	شیب حداقل (‰)	سطح مقطع لوله (m^2)	دبی (litre/sec)
۴۰	۰/۳۲	۰/۰۰۱۲۶	۰/۲۸
۵۰	۰/۲۵	۰/۰۰۱۹۶	۰/۴۴
۶۵	۰/۲	۰/۰۰۳۳۲	۰/۷۵
۷۵	۰/۱۷	۰/۰۰۴۴۲	۰/۹۹
۸۰	۰/۱۶	۰/۰۰۵۰۳	۱/۱۳
۱۰۰	۰/۱۳	۰/۰۰۷۸۵	۱/۷۶
۱۳۰	۰/۱	۰/۰۱۳۲۷	۲/۹۹
۱۵۰	۰/۰۸	۰/۰۱۷۶۷	۳/۹۸
۱۶۰	۰/۰۸	۰/۰۲۰۱۱	۴/۵۲
۱۸۰	۰/۰۷	۰/۰۲۵۴۵	۵/۷۳
۲۰۰	۰/۰۶	۰/۰۳۱۴۲	۷/۰۷
۲۳۰	۰/۰۶	۰/۰۴۱۵۵	۹/۳۵
۲۵۰	۰/۰۵	۰/۰۴۹۰۹	۱۱/۰۵
۳۰۰	۰/۰۴	۰/۰۷۰۶۹	۱۵/۹۱

۳-۶- زهکش‌های زیرزمینی جانبی

زهکش‌های زیرزمینی جانبی معمولاً قطری کمتر از زهکشهای جمع‌کننده دارند، در حالی که طول زهکشهای زیرزمینی جانبی بیشتر از طول زهکشهای جمع‌کننده است. آرایش زهکشهای زیرزمینی جانبی براساس قطر داده شده در جدول (۳-۳) و به منظور ساده کردن عملیات زهکشی، طراحی گردد.

۳-۷- زهکش‌های جمع‌کننده

زهکش‌های جمع‌کننده بایستی به گونه‌ای نصب شوند که به طور یکنواخت آب زهکشی را از زهکشهای جانبی دریافت کرده و آن را به داخل زهکشهای مزرعه تخلیه کنند.

شیب زهکشهای جمع‌کننده اغلب $\frac{1}{300}$ ، $\frac{1}{400}$ و $\frac{1}{500}$ است. از شیبهایی با رقمهای جزئی نظیر $\frac{1}{321}$ ، $\frac{1}{405}$ و $\frac{1}{525}$ اجتناب می‌شود. قطر لوله‌های جمع‌کننده با استفاده از فرمول (۳-۲) تعیین می‌گردد مشروط بر آنکه حداقل سرعت مورد نیاز V_{min} برابر 0.225 متر بر ثانیه باشد.

در فرمول (۳-۲)، بایستی مقدار ضریب K را محاسبه نماییم. مقدار K با فرمول (۳-۳) یا (۳-۴) محاسبه شده است. اگر برآورد تقریبی مجاز باشد، محاسبات با $K = 20$ آغاز می‌گردد.

با دقت در نتایج مقدار K که در مثال محاسباتی ۸ داده شده، می‌توان دریافت که مقدار K برای قطر ۱۶۰ میلیمتر برابر ۲۰ خواهد بود. برای قطرهای کوچکتر، فرمول بازن و کوتر مقادیر کمتری را برای K به دست می‌دهند. برای مثال در حالتی که قطر لوله ۴۰

میلیمتر باشد، در فرمول گیسلر $V_{min} = 0.225$ متر بر ثانیه و $\frac{h}{\ell} = 0.032$ خواهد شد.

در فرمول بازن که شامل فرمولهای (۳-۲) و (۳-۳) است داریم:

$$V = K \sqrt{d \cdot \frac{h}{\ell}} = 13 \times \sqrt{\frac{4}{100} \times 0.0032} = 0.147 \text{ (m/sec)} < 0.225 \text{ (m/sec)}$$

در فرمول کوتر که شامل فرمولهای (۳-۲) و (۳-۴) است خواهیم داشت:

$$V = 12.5 \times \sqrt{\frac{4}{100} \times 0.0032} = 0.141 \text{ (m/sec)} < V_{\min} = 0.225 \text{ (m/sec)}$$

اگر شیب لوله‌های زهکشی را تغییر ندهیم بایستی قطر لوله را افزایش داد.
از فرمول بازن داریم:

$$0.225 = 13 \times \sqrt{d \times 0.0032}$$

$$\left(\frac{0.225}{13} \right)^2 = d \times 0.0032$$

$$d = \frac{1}{0.0032} \times \left(\frac{0.225}{13} \right)^2 = 0.094 \text{ (m)} \approx 100 \text{ (mm)}$$

از فرمول کوتر داریم:

$$0.225 = 12.5 \times \sqrt{d \times 0.0032}$$

$$\left(\frac{0.225}{12.5} \right)^2 = d \times 0.0032$$

$$d = \frac{1}{0.0032} \times \left(\frac{0.225}{12.5} \right)^2 = 0.101(m) \approx 100 \text{ تا } 130(mm)$$

اگر بخواهیم شبکه زهکشی زیرزمینی مزرعه را با اطمینان بیشتری طراحی کنیم بهتر است که فرمول کوتر را برای حالتی که قطر لوله‌های زهکشی کمتر از ۱۶۰ میلی‌متر است استفاده نمائیم.

۸-۳- طراحی زهکش‌های زیرزمینی

در اینجا به معیارهای طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی شالیزار پرداخته می‌شود. در ژاپن حداقل دبی واحد زهکشی زیرزمینی ۰/۷ لیتر در ثانیه در هکتار و حداکثر ۱/۶۶ لیتر در ثانیه در هکتار است. مقدار متوسط ۱/۱ لیتر در ثانیه برای اراضی شالیزاری که فقط به کشت برنج اختصاص یافته و از ماشین‌آلات کشاورزی سبک در آن استفاده می‌گردد پیشنهاد شده‌است. با پیشرفت روزافزون استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی سنگین نظیر ماشین‌های خاک‌ورزی و برداشت، زهکشی زیرزمینی سریع و ظرفیت تحمل‌پذیری بالای خاک مورد انتظار کشاورزان می‌باشد.

برای مثال مواردی از ظرفیت تحمل‌پذیری خاک در زیر ارائه شده‌است:

شخم: ظرفیت تحمل‌پذیری بیش از ۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در عمق ۱۵ سانتی‌متری زیر سطح زمین و با میانگین ۴ نقطه‌ای مقادیر اندازه‌گیری شده مورد نیاز می‌باشد.

برداشت: ظرفیت تحمل‌پذیری بیش از ۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در عمق ۱۵ سانتی‌متری زیر سطح زمین و با میانگین ۴ نقطه‌ای مقادیر اندازه‌گیری شده مورد نیاز می‌باشد.

گل آب کردن: ظرفیت تحمل‌پذیری بیش از ۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در عمق ۱۵ سانتی‌متر زیر لایه شخم (دقت کنید که مبنا سطح زمین نیست) که به روش میانگین ۴ نقطه‌ای مقادیر اندازه‌گیری شده محاسبه می‌گردد.

به منظور بدست آوردن مقادیر ظرفیت تحمل‌پذیری فوق، مهندسین آبیاری ژاپن بایستی تراز سطح آب زیرزمینی را به گونه‌ای که در جدول زیر نشان داده شده کنترل نمایند:

جدول (۳-۵) تراز سطح آب زیرزمینی مناسب برای کشت

نوع کشت	تراز سطح ایستابی ۲ الی ۳ روز پس از بارندگی	تراز سطح ایستابی ۷ روز پس از بارندگی
۱- کشت تک محصولی	۳۰ الی ۴۰ سانتی‌متر پائین‌تر از سطح زمین	۴۰ الی ۵۰ سانتی‌متر پائین‌تر از سطح زمین
۲- گیاهان مرتعی، محصولات خشکه زاری و تناوب زراعی بین محصولات خشکه‌زاری و برنج	۴۰ الی ۵۰ سانتی‌متر پائین‌تر از سطح زمین	۵۰ الی ۶۰ سانتی‌متر پائین‌تر از سطح زمین
۳- محصولات چند ساله	۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر پائین‌تر از سطح زمین	۶۰ الی ۱۰۰ سانتی‌متر پائین‌تر از سطح زمین

استانداردهای بالائی از نقطه‌نظر ماشین‌آلات کشاورزی و کرت‌های زراعی مورد درخواست کشاورزان است. در نتیجه مناطق زیادی دبی واحد زهکشی زیرزمینی ۵ و ۶ لیتر در ثانیه در هکتار را که ۵ برابر دبی واحد زهکشی زیرزمینی معمول در شالیزار است به‌کار می‌برند.

بنابراین برای مطالعه و طراحی زهکش‌های زیر زمینی مناسب برای پروژه از نقطه نظر فنی و اقتصادی نیازهای پروژه مشخص می‌گردد.

ممکن است که متوجه برخی اختلافات بین نتایج آزمایشی داده شده در جدول (۳-۲) و جدول (۳-۳) و نتایج محاسبه شده نشان داده شده در جدول (۳-۴) گردید. این مشکل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مقادیر متوسط ۱/۱ لیتر در ثانیه در هکتار بایستی مناسب شالیزارهای ژاپن که فقط برنج در آن کشت می‌شود باشد. با در نظر گرفتن این مقدار، مشکل مورد بحث قرار می‌گیرد. فرض می‌شود که طول یک کرت ۱۰۰ متر و عرض آن ۱۰۰ متر باشد. چون شالیزارهای معمول دارای مقادیر زیادی رس هستند، با توجه به جداول (۳-۲) و (۳-۳) فاصله زهکشها را ۱۵ متر در نظر می‌گیریم در حالی که مجبور به پذیرفتن زهکشی با قطر ۸۰ میلیمتر برای دبی بیش از ۱/۱ لیتر در ثانیه هستیم. اگر زهکشی با قطر ۸۰ میلیمتر با شیب ۰/۰۱۶ نصب شود (۰/۱۶ درصد) این زهکشی زیرزمینی قادر به تخلیه دبی ۱/۱۳ لیتر در ثانیه است که بیشتر از دبی مورد نیاز زهکشی زیرزمینی (۱/۱ لیتر در ثانیه) می‌باشد. این بدان معنی است که تنها یک لوله زهکشی زیرزمینی در یک هکتار نصب می‌گردد.

اما در جدول (۳-۲) و (۳-۳) پیشنهاد شده است که یک لوله زهکشی زیرزمینی نمی‌تواند آب زهکشی را از یک منطقه وسیع جمع‌آوری نماید و محدودیتی در منطقه جمع‌آوری وجود دارد. با تطبیق نتایج آزمایش و تئوری فرمولی برای طراحی شبکه زهکشی زیرزمینی بدست می‌آید.

۹-۳- فرمول جهت تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی

(الف) فرمول دلاکرویکس که برای حالت ماندگار آبهای زیرزمینی به کار می‌رود. چنانچه مهندسین آبیاری ژاپن فرمولی برای به کار بردن در شالیزار نداشته باشند، آن‌ها به فرمولهایی که برای خشکه زار بکار برده می‌شوند رو می‌آورند. از بین فرمولهای زیادی که برای محاسبه فاصله زهکشهای زیرزمینی در خشکه‌زاری توسعه یافته است، فرمول دلاکرویکس بیشتر به کار برده می‌شود، زیرا این فرمول وضعیت ماندگار آبهای زیرزمینی را مورد بحث قرار می‌دهد که مهندسین آبیاری ژاپن آن را در خاکهای اراضی شالیزاری مشاهده نمودند. او مدل زیر را پیشنهاد داده است:

بر اساس مدل و آزمایشات، فرمول زیر ارائه گردید:

$$S = \frac{2(H_u - h - h_1)}{\tan \beta} \quad (3-5)$$

که:

S: فاصله زهکش‌های زیرزمینی جانبی (m)

H_u : فاصله عمودی بین زهکش‌های جانبی تا سطح زمین (m)

h: فاصله بین سطح ایستابی تا سطح زمین در وسط بین دو زهکش (m)

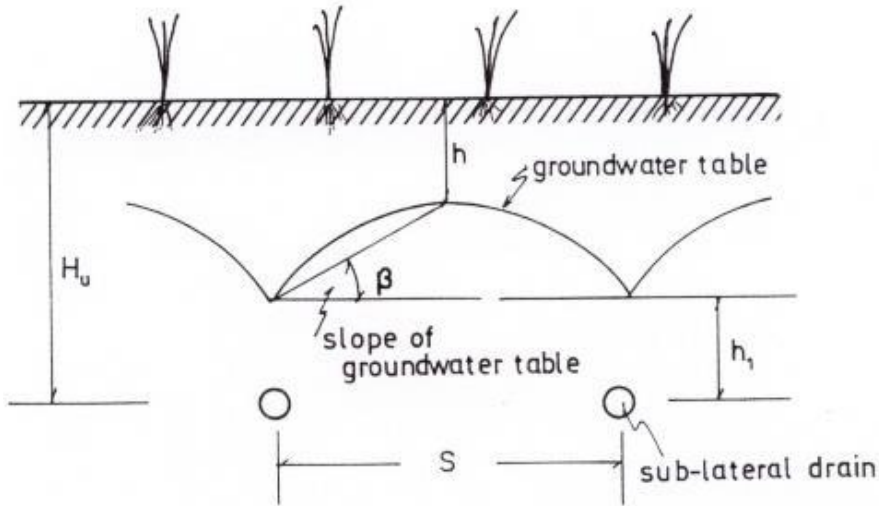
h_1 = فاصله عمودی بین زهکشی و سطح ایستابی واقع در بالای زهکش (m)

$\tan \beta$ = شیب سطح آب زیرزمینی که با فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\tan \beta = \frac{0.09 + 0.0175 \times 10^5 \times K}{1 + 1.12 \times 10^5 \times K} \quad (3-6)$$

برای h، رابطه زیر را به صورت تجربی بدست آورده است:

$$h = \frac{0.5 + 1.01 \times 10^5 \times K}{1 + 1.12 \times 10^5 \times K} \quad (3-7)$$



شکل (۳-۹) مدل دلاکرویکس برای سطح ایستابی

زمانی که مهندسین آبیاری ژاپن فرمول دلاکرویکس را به کار می‌بردند مقدار h را ثابت فرض می‌کنند.

مقدار h_1 با فرمول زیر به صورت تابعی از هدایت هیدرولیکی بیان شده است:

$$h_1 = \frac{0.35 + 0.16 \times 10^5 \times K}{1 + 1.47 \times 10^5 \times K} \quad (3-8)$$

با استفاده از فرمول (۳-۶)، (۳-۷) و (۳-۸) دکتر دلاکرویکس رابطه بین نوع خاک و هدایت هیدرولیکی K را بدست آورده است.

جدول (۳-۶) نتایج تجربی ($\tan \beta$) و K هدایت هیدرولیکی نسبت به نوع خاک (ارائه شده توسط دکتر دلاکرویکس)

نوع خاک	h_1 (cm)	$\tan \beta$	هدایت هیدرولیکی K (cm/sec)
۱- رس سنگین ۲- رس معمولی	- حداکثر ۳۴ سانتیمتر متوسط ۲۵ سانتیمتر	۰/۰۹ از ۰/۰۷ تا ۰/۰۸	$۱۰^{-۸} \times ۳$ $۱۰^{-۶} \times ۴/۵$
۳- لوم یا رس شنی ۴- شن	- حداکثر ۳۰ سانتیمتر متوسط ۲۵ سانتیمتر	از ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۳ از ۰/۰۱۵ تا ۰/۰۲	$۱۰^{-۵} \times ۳/۵$ $۱۰^{-۳} \times ۱$

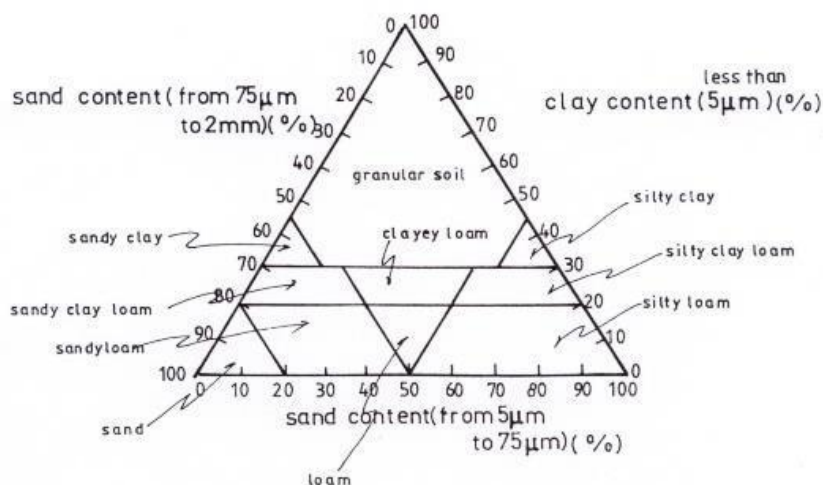
فرمول دلاکرویکس نهایتاً به H_u و K بستگی دارد. هدایت هیدرولیکی K به عنوان شاخص طبقه‌بندی خاک استفاده شده‌است، هر چند هدایت هیدرولیکی ضرورتاً با نوع خاک مطابقت ندارد. در ژاپن زمانی که هدایت هیدرولیکی خاک برای طراحی زهکشی زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد به بافت خاک و نفوذ پذیری آن مرتبط است.

جدول (۳-۷) رابطه بین هدایت هیدرولیکی و بافت خاک

ملاحظات	طبقه‌بندی خاک		هدایت هیدرولیکی (cm/sec)
	طبقه‌بندی بر اساس روش پیشنهاد شده توسط انجمن بین‌المللی علوم خاک	طبقه‌بندی بر اساس استانداردهای صنعتی ژاپن A 1204 <۲	
منطقه پوشیده شده با خاکی که برای ستون سمت راست قابل استفاده است. به طور مقتضی در ژاپن "یک منطقه خاک رسی" نامیده می‌شود که نفوذپذیری پائینی را نشان می‌دهد.	(۱) HC, Sic, Lic, Sil Sicl, آن به طور ضعیفی گسترش یافته و یا نگهداری آن مشکل است.	(۱) رس، رس سلیتی، لوم رسی سلیتی و لوم سلیتی که ساختمان آن گسترش نیافته‌است.	کوچک‌تر از 10^{-5} (cm/sec)
	(۲) Scl, Cl, Sc که ساختمان آن به طور ضعیفی گسترش یافته‌است.	(۲) رس شنی، لوم رسی و لوم رسی شنی که گسترش ساختمان آن ضعیف بوده ولی محکم است.	
	-	(۳) لوم و لوم رسی که چندین بار خمیری شده و محکم شده‌است.	
منطقه پوشیده شده با خاکی که برای ستون سمت راست قابل استفاده است. به طور مقتضی در ژاپن "یک منطقه خاک لومی" نامیده می‌شود.	(۱) HC, Sic, Lic, Sc, Sicl, Cl, Scl, Sil, که ساختمان آن به اندازه کافی گسترش یافته‌است.	(۱) رس، رس سلیتی، لوم رسی سلیتی، لوم رسی، رس شنی و لوم رسی شنی که ساختمان آن به اندازه کافی گسترش یافته‌است.	بزرگ‌تر از 10^{-5} (cm/sec)
	(۱) sL, L, یک بخش از SL و یک بخش از S	(۱) لوم، لوم شنی و بخشی از شن که ساختمان آن به طور ضعیف گسترش یافته‌است.	کوچک‌تر از 10^{-3} (cm/sec)
یک منطقه خاک شنی نامیده می‌شود.	(۱) یک بخش از Ls و S	(۱) اساساً شن	بیش از 10^{-3} (cm/sec)

ملاحظه:

- ۱ < هدایت هیدرولیکی، متوسط مقدار داده‌های نمونه‌برداری شده از لایه‌ای با ضخامت یک متر است که از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود.
- ۲ < طبقه‌بندی خاک در دیاگرام مثلی بر اساس روش JIS به صورت زیر نشان داده شده‌است.



شکل (۳-۱۰) دیاگرام مثلی طبقه‌بندی خاک بر اساس روش JIS

مثال محاسباتی ۵

از یک مهندس آبیاری خواسته شده تا سیستم زهکشی زیرزمینی را در سطح مزرعه طراحی نماید. با در نظر گرفتن شرایط زیر فاصله بین زهکش‌های جانبی زیرزمینی را طراحی کنید.

- مزرعه برای تناوب زراعی برنج و محصولات خشکه‌زایی به کار می‌رود.
- مالک مزرعه از ماشین‌آلات سنگین کشاورزی استفاده خواهد کرد.

- عمق اضافی نصب برای محافظت زهکش‌های زیرزمینی از ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد.
- عمق سطح ایستابی طرح ۵۰ سانتی متر پایین‌تر از سطح زمین است.
- زهکش زیرزمینی جانبی بایستی ۰/۶ - ۰/۸ متر زیر سطح زمین در نقطه شروع بالا دست و ۰/۸ تا یک متر زیر سطح زمین در نقطه انتهایی پایین‌دست باشد.
- یخبندان تا عمق ۴۸ سانتی‌متر زیر سطح زمین در فصل زمستان می‌رسد.
- هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در محل 3×10^{-5} متر بر ثانیه می‌باشد.
- درز و شکاف‌هایی در چندین نقطه مزرعه مشاهده شده است.

حل

با مقایسه سطح آب زیرزمینی ۵۰ سانتی‌متری با مقادیر پیشنهاد شده در جدول (۵-۳) در می‌یابیم که این مقدار منطقی است. زیرا مزرعه بطور نوبتی با کشت برنج و محصولات خشکه‌زاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

فرض می‌کنیم که عمق اضافی نصب ۳۰ سانتی‌متر است، که برابر مقدار میانگین داده‌هایی است که در مسئله ارائه شده است. سپس، عمق نصب زهکش زیرزمینی جانبی را تعیین می‌کنیم که برابر است با:

$$\begin{aligned} & (\text{سانتی‌متر}) ۸۰ = (\text{سانتی‌متر}) ۳۰ + (\text{سانتی‌متر}) ۵۰ = (\text{عمق اضافی نصب زهکش}) + \\ & (\text{عمق سطح ایستابی}) \text{ عمق یخبندان} = (\text{سانتی‌متر}) ۴۸ > \end{aligned}$$

فرمول دلاکرویکس یعنی فرمول (۵-۳) را برای محاسبه فاصله زهکش‌های زیرزمینی جانبی به کار می‌بریم. چون h_1, h و $\tan \beta$ تابعی از هدایت هیدرولیکی هستند سعی می‌کنیم که آنها را محاسبه کنیم. فرمول (۶-۳) را به کار می‌بریم، بنابراین:

$$\tan \beta = \frac{0.09 + 0.0175 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-5}}{1 + 1.12 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-5}} = \frac{0.09 + 0.0175 \times 30}{1 + 1.12 \times 3} = \frac{0.1425}{4.36} = 0.0327$$

$$h = \frac{0.5 + 1.01 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-5}}{1 + 1.12 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-5}} = \frac{0.5 + 1.01 \times 3}{1 + 1.12 \times 3} = \frac{3.53}{4.36} = 0.810 \text{ (m)}$$

$h = 0.810 \text{ (m)} < \text{عمق نصب زهکش زیرزمینی} = ۸۰ \text{ سانتی متر می باشد.}$

این پدیده بیانگر محدودیت این فرمول در به کارگیری آن برای محصولات خشکه زاری می باشد.

در اینجا $h = ۵۰$ سانتی متر را به جای مقدار محاسبه شده $= ۰/۸۱$ متر به کار می بریم، زیرا مزرعه شالیزاری معمولاً زیر آب بوده و سطح ایستابی بالا می باشد.

$$h_1 = \frac{0.35 + 0.16 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-5}}{1 + 1.47 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-5}} = \frac{0.35 + 0.16 \times 3}{1 + 1.47 \times 3} = \frac{0.830}{5.410} = 0.153 \text{ (m)}$$

با جایگزینی $tg \beta = 0.0327$ ، $h = 0.5 \text{ (m)}$ و $h_1 = 0.153 \text{ (m)}$ در فرمول (۳-۵) خواهیم داشت:

$$S = \frac{2(H_u - h - h_1)}{tg \beta} = \frac{2(0.8 - 0.5 - 0.153)}{0.0327} = 8.99 \text{ (m)} \approx 9 \text{ (m)}$$

با اعمال هدایت هیدرولیکی و $tg \beta$ در جدول (۳-۶)، می توان نوع خاک مزرعه را حدس زد که آیا لومی است یا لوم شنی.

اگر فاصله زهکش های زیرزمینی جانبی را از جدول (۳-۲) بیابیم، مقدار ۱۴ تا ۱۶ متر را برای لوم معمولی بدست خواهیم آورد.

جدول دیگری که به فاصله زهکش‌های زیرزمینی جانبی مرتبط است ارائه می‌شود که به طور تجربی توسط دکتر اسلیتر (Dr. Slater) تهیه شده است.

جدول (۳-۸) فاصله زهکشهای زیرزمینی جانبی با توجه به نوع خاک توسط دکتر اسلیتر

عمق نصب زهکشهای زیرزمینی جانبی (%) (**)				درصد وزنی (*)	طبقه‌بندی خاک
1.4 ± 0.1 (m)	1.2 ± 0.1 (m)	1 ± 0.1 (m)	0.8 ± 0.1 (m)		
از ۷/۵ تا ۱۰ متر	از ۷ تا ۱۰ متر	از ۶/۵ تا ۱۰ متر	از ۶ تا ۱۰ متر	از ۱۰۰٪ تا ۷۵٪	۱- رس سنگین
از ۹/۵ تا ۱۱/۵ متر	از ۵ تا ۱۰ متر	از ۳/۸ تا ۱۰ متر	از ۸ تا ۱۰ متر	از ۷۵٪ تا ۶۰٪	۲- رس معمولی
از ۱۳/۵ تا ۱۱/۵ متر	از ۱۲/۵ تا ۱۱ متر	از ۱۱/۵ تا ۱۰ متر	از ۹ تا ۱۰ متر	از ۶۰٪ تا ۵۰٪	۳- لوم رسی
از ۱۳/۵ تا ۱۶ متر	از ۱۲/۵ تا ۱۴/۵ متر	از ۱۱/۵ تا ۱۳ متر	از ۱۰ تا ۱۱/۵ متر	از ۵۰٪ تا ۴۰٪	۴- لوم معمولی
از ۱۵ تا ۲۱ متر	از ۱۳ تا ۱۸ متر	از ۱۰ تا ۱۶ متر	از ۱۰ تا ۱۳ متر	-	۵- پیت
از ۱۶ تا ۲۲ متر	از ۱۴/۵ تا ۱۹/۵ متر	از ۱۳ تا ۱۷ متر	از ۱۱/۵ تا ۱۴/۵ متر	از ۴۰٪ تا ۲۵٪	۶- لوم شنی
از ۲۲ تا ۳۰ متر	از ۱۹/۵ تا ۲۶ متر	از ۱۷ تا ۲۲ متر	از ۱۴/۵ تا ۱۸ متر	از ۲۵٪ تا ۱۰٪	۷- شن شنی
بیش از ۳۰ متر	بیش از ۲۶ متر	بیش از ۲۲ متر	بیش از ۱۸ متر	کمتر از ۱۰٪	۸- شن

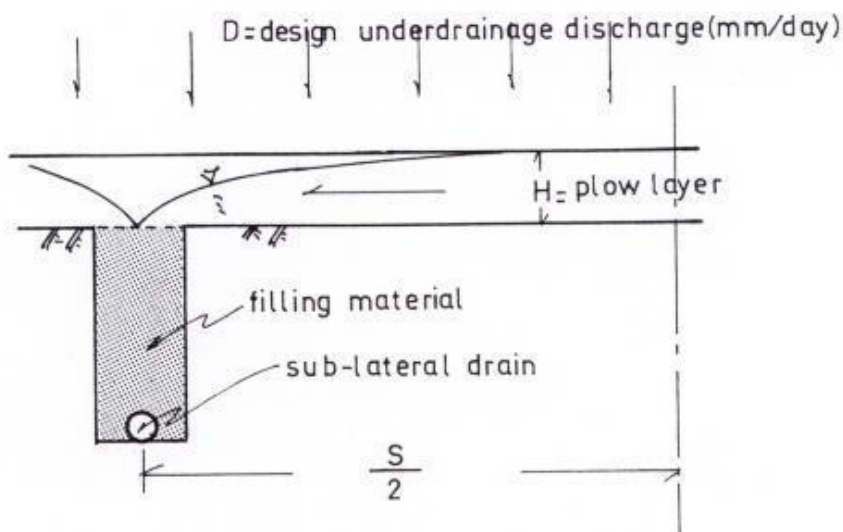
(*) در صد وزنی که نشان دهنده نسبت خاک با اندازه ذرات کمتر از ۰/۰۲ میلیمتر به

وزن حجمی خاک

(**) علامت $\pm$ نشان دهنده اختلاف در عمق نصب یک زهکش زیرزمینی جانبی است.

(ب) فرمول اگینو - مورااشیما (Ogino & Murashima)

با علم به اینکه فرمول‌هایی که توسط برخی محققین در زمینه مزارع خشکه‌زاری توسعه یافته دارای معایب و زیان‌هایی برای به کارگیری در مزارع شالیزاری می‌باشد، محققین ژاپنی تلاش کردند تا فرمولهایی را که قابل کاربرد در مزارع شالیزاری باشد ارائه دهند. دکتر اگینو و مورااشیما مدل زیر را برای زهکشی در یک کرت زراعی پیشنهاد دادند.



شکل (۴-۱۵) مدل اگینو و مورااشیما برای زهکشی مزرعه

در مدل آنها سطح ایستابی با سطح زمین در تماس است در حالی که در مدل دلاکرویکس سطح ایستابی در فاصله h زیر سطح زمین قرار دارد. آن‌ها فرضیات زیر را در مدلشان اعمال کردند:

(الف) یک لایه نفوذپذیر در لایه شخم محدود شده است.

(ب) خاک زیرین که پایین تر از بستر شخم واقع شده است به عنوان لایه غیر قابل نفوذ در نظر گرفته می شود.

(ج) آب های زیرزمینی در لایه سطحی (لایه شخم) به طور افقی جریان یافته و به ترانشه، جایی که زهکشهای جانبی زیرزمینی در آن کار گذاشته شده وارد می شوند.

(د) سطح ایستابی یعنی آب زیرزمینی سطحی در وسط دو زهکش جانبی زیرزمینی در حالت ماندگار زهکشی با سطح زمین تماس پیدا می کند.
فرمول زیر توسط آنها پیشنهاد گردید:

$$S = 2H \cdot \sqrt{\frac{86.4 \times k}{D}} \quad (3-9)$$

که:

S: فاصله زهکشهای زیرزمینی جانبی (m)

H: عمق لایه شخم (سانتی متر) که از ۱۰-۲۰ سانتی متر متغیر است.

$$K: \text{هدایت هیدرولیکی کل سطح کرت زراعی} \left(\frac{cm}{sec} \right) \cdot \alpha$$

α : ضریب تصحیح

K_S : هدایت هیدرولیکی اندازه گیری شده در محل $\left(\frac{cm}{sec} \right)$ که بصورت زیر نشان داده

شده است:

$$D: \text{دبی طرح زهکش زیرزمینی} \left(\frac{mm}{day} \right)$$

۸۶/۴: ضریب تبدیل واحد، که به روش آنالیز ابعادی محاسبه شده است. سمت راست فرمول به صورت زیر بیان می گردد:

$$\begin{aligned}
 [cm] \times \sqrt{\frac{(cm/sec)}{(mm/day)}} &= [cm] \times \sqrt{\left[\frac{cm}{sec}\right] \times \left[\frac{day}{mm}\right]} \\
 &= [cm] \times \sqrt{10 \left[\frac{mm}{sec}\right] \times 60 \times 60 \times 24 \left[\frac{sec}{mm}\right]} = [cm] \times \sqrt{86.4 \times 10^4} \\
 &= [cm] \times 10^2 \times \sqrt{86.4} = [m] \times \sqrt{86.4}
 \end{aligned}$$

جدول (۳-۹) مقادیر α با توجه به مرتبه K_S

مقدار تقریبی α	مرتبه K_S (cm/sec)
از ۱۰ تا ۵۰	$۱۰^{-۳}$
از ۵۰ تا ۱۰۰	$۱۰^{-۴}$
از ۱۰۰ تا ۵۰۰	$۱۰^{-۵}$
از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰	$۱۰^{-۶}$

جدول (۳-۹) نشان می‌دهد که مقدار α به نسبت معکوس با K_S تغییر می‌کند. این بدان معنی است که خاکهای رسی استعداد توسعه‌یافتگی ساختمان خاک را دارا می‌باشند. اعمال ضریب تصحیح α ، طراحی زهکشهای زیرزمینی را در خاکهای با نفوذپذیری پایین آسان‌تر می‌سازد.

D: دبی طرح زهکشی زیرزمینی با مقایسه بین مقدار دبی زهکشی زیرزمینی حاصل از آب باقیمانده روی سطح زمین در یک دوره زمانی مجاز با مقدار دبی زهکشی زیرزمینی حاصل از آب ثقلی موجود در بین ذرات خاک که موجب پایین آوردن سطح آب زیرزمینی تا سطح آب زیرزمینی طرح در یک دوره زمانی مجاز می‌گردد تعیین می‌شود.

در این بخش سعی خواهیم کرد تا آب باقیمانده در سطح زمین یعنی آب موجود در چاله‌ها و سطح غیریکنواخت مزرعه را مورد مطالعه قرار دهیم. حداکثر عمق آب باقیمانده روی سطح زمین ۵ سانتی‌متر فرض می‌شود زیرا همواری زمین پس از عملیات یکپارچه‌سازی اراضی ± 5 سانتی‌متر است.

در بهترین حالت، عمق آب باقیمانده روی سطح زمین صفر و در بدترین حالت بطور میانگین ۵ سانتی‌متر است.

محققین عمق آب باقیمانده در سطح زمین را پس از عملیات یکپارچه‌سازی اندازه‌گیری کردند. برخی از آنها به شرح ذیل می‌باشد:

– ۲/۵ سانتی‌متر در مزرعه‌ای در استان شیگا

– ۳/۵ سانتی‌متر در مزرعه‌ای در استان سائیتاما

– مقادیر مشابه داده‌های فوق در کرت‌های زراعی دیگر

از گزارشات فوق دو نکته زیر حاصل می‌شود:

(۱) به کارگیری مستقیم همواری ± 5 سانتی‌متر جهت محاسبه دبی زهکشی زیرزمینی واحد با تخمین بیش از حد سیستم زهکشی زیرزمینی همراه است.

(۲) تسطیح غیریکنواخت در عملیات یکپارچه‌سازی اراضی و عملیات زراعی کار سیستم زهکشی زیرزمینی را زیاد خواهد کرد.

با در نظر گرفتن مقدار اضافی برای آب باقیمانده روی سطح زمین، استانداردهای ژاپن مقادیر بین ۲-۵ سانتی‌متر را برای این منظور پیشنهاد می‌کند.

D: دبی طرح زهکش زیرزمینی را می‌توان با تقسیم عمق آب باقیمانده روی سطح زمین (ذکر شده در بالا) بر دوره زمانی مجاز داده شده در جدول (۳-۱۰) محاسبه کرد.

جدول (۳-۱۰) دوره زمانی مجاز زهکشی سطحی در سطح مزرعه

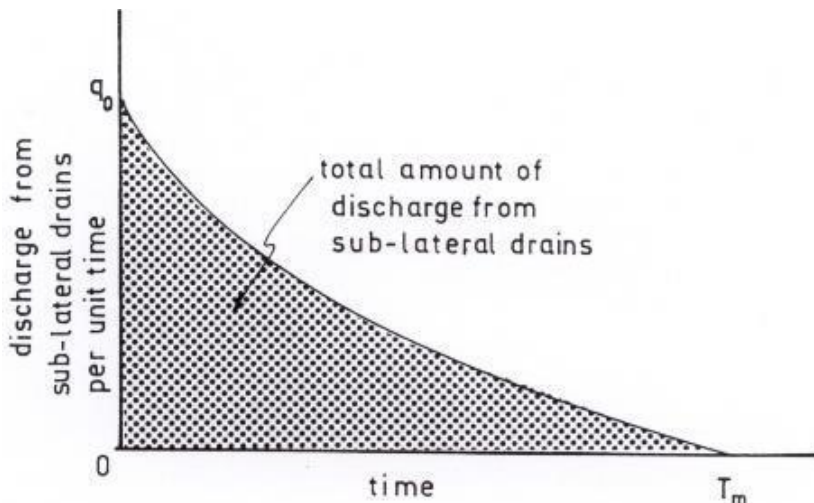
دوره زمانی زهکشی مجاز *	کاربرد زهکشی
کمتر از یک یا دو روز کمتر از یک روز	۱- دوره آبیاری (الف) استفاده از علف کشها یا کودهای مایع (ب) مرحله جوانه زنی ثانویه در کشت مستقیم در مزارع شالیزاری که غرقاب هستند. (ج) خشک کردن اراضی شالیزاری در اواسط فصل رشد (د) پایان آبیاری (ه) تخلیه آب مازاد از اراضی شالیزاری با سطح ناهموار در زمان سیلاب در حالتی که عمق غرقابی بزرگتر از ۱۰ سانتی متر باشد.
کمتر از یک تا سه روز کمتر از یک یا دو روز کمتر از یک یا دو روز کمتر از یک یا دو روز کمتر از سه تا پنج روز	۲- دوره غیر آبیاری (الف) شخم اولیه و شخم ثانویه (ب) مرحله کاشت در کشت مستقیم در اراضی شالیزاری با زهکشی خوب یا خشک (ج) مرحله جوانه زنی اولیه در کشت مستقیم در اراضی شالیزاری با زهکشی خوب یا خشک (د) عملیات برداشت (ه) کشت محصولات زمستانه (و) عملیات شخم در پائیز

ملاحظه

(* دوره زمانی زهکشی بایستی بلافاصله پس از شروع تخلیه آب راكد سطحی اندازه گیری شود.

اگر دوره زمانی یک روز باشد، مقدار D بین ۲۰ تا ۵۰ میلیمتر در روز خواهد بود. و چنانچه دوره زمانی برابر ۲ روز باشد مقدار D بین ۱۰ تا ۲۵ میلیمتر در روز خواهد شد. بنابراین با فرض اینکه دوره زمانی بین یک و دو روز باشد مقدار D بین ۱۰ تا ۵۰ میلیمتر در روز متغیر خواهد بود.

برای تعیین یک مقدار مناسب D خارج از دامنه ۱۰-۵۰ میلیمتر در روز، دکتر اگینو و دکتر موراوشیما روش زیر را بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در محل پیشنهاد دادند. آن‌ها یک آزمایش زهکشی زیرزمینی را با استفاده از مزرعه‌ای که با ماشین‌آلات ساختمانی تسطیح شده بود انجام دادند. زهکش زیرزمینی به فاصله S_t متر در مزرعه نصب شده بود. سپس آن‌ها سطح زمین مزرعه را آبیاری کرده تا غرقاب شود و شیر چاهک تخلیه را بستند. آن‌ها یک روز منتظر ماندند تا رطوبت خاک به حالت ماندگاری برسد. سپس با بسته بودن شیر چاهک تخلیه، آب سطحی را از طریق کانال باز تخلیه کردند. پس از اطمینان از تخلیه کامل آب راکد سطحی یعنی وقتی که دبی در کانال روباز تقریباً صفر شد، آن‌ها شیر چاهک تخلیه را باز کردند و شروع به اندازه‌گیری جریان خروجی در زهکش زیرزمینی نمودند.



شکل (۱۲-۳) دبی زهکش زیرزمینی بر اساس زمان

همان گونه که در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده، منحنی در ماکزیمم مقدار q_0 یعنی دبی زهکشی زیرزمینی اولیه شروع و با گذشت زمان به طور نمائی کاهش می یابد. زمانی که تخلیه متوقف شد، آن ها زمان سپری شده را اندازه گرفته و به صورت T_m بیان کردند. آن ها دبی زهکشی را از زمان صفر تا T_m اندازه گیری کردند که مجموع آب باقیمانده روی سطح زمین و آب مازاد نگه داشته شده در داخل خاک می باشد. با قرار دادن T برابر دوره زمانی زهکشی طرح در صورتی که $T_m = T$ ، آن ها دبی زهکشی زیرزمینی اولیه را دبی زهکشی زیرزمینی طرح D در نظر گرفتند.

آن ها منحنی داده شده در شکل (۳-۱۲) را با یک تابع نمایی تقریب زدند و فرمول زیر را به دست آوردند:

(۳-۱۰)

$$D = 3 * \left\{ \frac{\text{کل مقدار آب زهکشی از زهکش های زیرزمینی جانبی}}{T} \right\}$$

که:

D : دبی طرح زهکشی زیرزمینی $\left(\frac{mm}{day}\right)$

T : دوره زمانی زهکشی طرح

۳: شیب منحنی

با به کار بردن فرمول (۳-۱۰) برای مزارع آزمایشی، آن ها مقدار کل دبی زهکش زیرزمینی در حالت T برابر یک روز را اندازه گیری کردند که مقدار بین ۵ الی ۲۰ میلیمتر را برای مزارع شالیزاری عادی بدست آوردند. و گزارش کردند که مقدار ۷ میلیمتر بیشتر

اتفاق می‌افتد. با جاگذاری مقدار ۷ میلیمتر، مقدار $D = \frac{3 \times 7}{1} = 21$ میلیمتر در روز را

بدست آوردند که به ۲۰ میلیمتر در روز گرد می‌شود.

با توجه به این آزمایشات، آن‌ها نتیجه گرفتند که بهتر است مقدار ۲۰ میلیمتر در روز از بین مقادیر پیشنهاد شده D که در دامنه ۱۰-۵۰ میلیمتر در روز قرار دارد انتخاب گردد. چون می‌توان مقدار D را انتخاب کرد، دبی زهکشی زیرزمینی در واحد سطح مزرعه در حالت تخلیه آبهای باقیمانده در سطح زمین می‌تواند محاسبه شود:

$$q_s = \frac{D \times 100 \times 100}{N \times 60 \times 60 \times 24} \quad (3-11)$$

که:

q_s : دبی واحد زهکشی زیرزمینی، زمانی که آب باقیمانده روی سطح زمین از طریق زهکشهای زیرزمینی از مزرعه در یک محدوده زمانی مجاز (لیتر در ثانیه در هکتار) تخلیه می‌گردد.

D : دبی واحد زهکشی زیرزمینی طراحی که به صورت میلیمتر در روز بیان می‌گردد. در بیشتر حالتها، مهندسین D را به گونه‌ای در نظر می‌گیرند که همواری سطح زمین پس از عملیات یکپارچه‌سازی تحقق یابد. در این روش ممکن است یک برآورد بیشتر در سیستم زهکشی حاصل شود.

N : مدت زمان مورد نیاز برای تخلیه آب باقیمانده (روز)

دبی واحد زهکش زیرزمینی در حالت تخلیه آب ثقی در خاک با فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$q_G = \frac{R \times P \times 100 \times 100 \times 10^3}{N \times 10^3 \times 60 \times 60 \times 24} \quad (3-12)$$

که:

q_G : دبی واحد زهکشی زیرزمینی، زمانی که آب ثقی در خاک تا سطح ایستابی طراحی در یک دوره زمانی مجاز افت می‌کند (لیتر در ثانیه در هکتار).

$$R: \text{بارندگی روزانه طرح} = \frac{R}{10^3 \times 60 \times 60 \times 24} \text{ (متر بر ثانیه)}$$

P : نسبت مقدار آب نفوذ کرده در خاک به مقدار آب زهکشی حاصل از بارندگی برای

$$\frac{1}{3} \text{ مثال}$$

N : تعداد روزهای لازم برای زهکشی زیرزمینی (روز)

مثال محاسباتی ۶

از یک مهندس آبیاری خواسته شده تا سیستم زهکشی زیرزمینی را در سطح مزرعه طراحی نماید. فاصله زهکشهای زیرزمینی را با توجه به شرایط زیر تعیین نمایید:

- مزرعه برای کشت برنج طراحی شده است.
- عملیات یکپارچه‌سازی اراضی با هدف دستیابی به همواری ± 5 سانتی متر اجرا شده است.
- کشاورز ماشین‌آلات سنگین کشاورزی را در مزرعه به کار می‌برد.
- کشاورز انتظار دارد که آب راکد سطحی باقیمانده روی زمین ظرف مدت ۲۴ ساعت تخلیه گردد.
- هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در محل 3×10^{-5} سانتی متر در ثانیه است.
- ترک‌ها و شکافهای زیادی در سطح مزرعه مشاهده شده است.
- ضخامت لایه شخم در حدود ۲۰ سانتی متر است.
- حداکثر بارندگی متوالی سه روزه با احتمال $\frac{1}{3}$ در حدود ۲۲۵/۵ میلی‌متر بوده است.

- نسبت مقدار آب نفوذ کرده در خاک به مقدار آب زهکشی حاصل از بارندگی $\frac{1}{3}$ فرض شده است.
- تعداد روزهای مورد نیاز برای زهکشی زیرزمینی ۷ روز فرض شده است.
- کرت زراعی دارای ابعاد 30×100 متر می باشد.

حل

چون مزرعه برای زراعت برنج طراحی شده، از فرمول اگینو و موراوشیما یعنی فرمول (۹-۳) استفاده می کنیم:

$$S = 2.H \sqrt{\frac{86/4 \times K}{D}} \quad (3-9)$$

که،

H: عمق لایه شخم = ۲۰ سانتی متر است که در مسئله داده شده است.

$$K = \alpha \times K_s$$

K_s : هدایت هیدرولیکی اندازه گیری شده در محل $= 3 \times 10^{-5}$ (سانتی متر بر ثانیه)
 α : ضریب داده شده در جدول (۹-۳). چون ترکها و شکافها به طور گسترده در سطح مزرعه وجود دارد مقدار حداقل برای α در نظر گرفته می شود. ($\alpha = 500$)
D: دبی طراحی زهکشی زیرزمینی (میلیمتر در روز) که بایستی پس از مقایسه بین q_s و q_G انتخاب گردد.

(۱) محاسبه q_s

از فرمول (۳-۱۱) خواهیم داشت:

$$q_s = \frac{D \times 100 \times 100}{N \times 60 \times 60 \times 24} \quad (3-11)$$

که،

q_s : دبی واحد زهکشی زیرزمینی، زمانی که آب باقیمانده روی سطح زمین از طریق زهکشهای زیرزمینی از یک مزرعه در دوره زمانی مجاز تخلیه گردد (لیتر در ثانیه در هکتار).

D: دبی طراحی زهکشی زیرزمینی که در شرایط همواری ± 5 سانتیمتر، ۲۰ میلیمتر در روز است.

N: مدت زمان مورد نیاز برای تخلیه آب باقیمانده، از جدول (۳-۱۰) = یک روز است.
بنابراین خواهیم داشت:

$$q_s = \frac{20 \times 100 \times 100}{1 \times 60 \times 60 \times 24} = 2.3 \text{ (litres / sec/ ha)}$$

(۲) محاسبه q_G

از فرمول (۳-۱۲) خواهیم داشت:

$$q_G = \frac{R \times P \times 100 \times 100 \times 10^3}{N \times 10^3 \times 60 \times 24} \quad (3-12)$$

q_G : دبی واحد زهکشی زیرزمینی، زمانی که آب ثقیلی موجود در خاک در یک دوره زمانی مجاز به سطح آب زیرزمینی طراحی افت کند.

$$R = \text{بارندگی روزانه طرح} = \frac{225.5 \text{ (mm)}}{3 \text{ (day)}} = 75.2 \text{ (mm/day)}$$

$$P = \frac{1}{3} = \text{نسبت مقدار آب نفوذ کرده در خاک به مقدار آب زهکشی حاصل از بارندگی}$$

$$N = \text{تعداد روزهای مورد نیاز برای زهکشی زیرزمینی} = 7 \text{ روز}$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$q_G = \frac{75.2 \times \frac{1}{3} \times 100 \times 100 \times 10^3}{7 \times 10^3 \times 60 \times 60 \times 24} = 0.41 \quad (\text{litre / sec/ ha})$$

چون $q_G > q_s$, مقدار q_s به عنوان مقدار طرح پذیرفته می‌شود.

(۳) محاسبه S (فاصله زهکشهای زیرزمینی)

چون D برابر ۲۰ میلیمتر در روز تعیین شده است، بایستی مقدار K را محاسبه نمود.

$$K = \alpha \cdot K_s \quad \text{که } \alpha \text{ در جدول (۴-۱۴) داده شده و } K_s = 3 \times 10^{-5} \text{ (cm/sec)}$$

بدلیل وجود درز و ترک در سطح مزرعه، ضریب تصحیح $\alpha = 50$ در نظر گرفته می‌شود.

$$K = 50 \times 3 \times 10^{-5} \quad \text{با جاگذاری } D = 20 \text{ میلیمتر در روز و } H = 20 \text{ سانتی‌متر و}$$

سانتی‌متر بر ثانیه در فرمول (۹-۳) خواهیم داشت:

$$S = 2 \times 20 \times \sqrt{\frac{86/4 \times 500 \times 3 \times 10^{-5}}{20}} = 10.2 \text{ (m)}$$

چون عرض کرت ۳۰ متر است مقدار ۱۰/۲ متر را به ۱۰ متر گرد می‌کنیم.

(ج) فرمول اگینو و موراشیما و کاربرد آن در زهکشهای زیرزمینی ترکیبی

زمانی که فاصله زهکشهای زیرزمینی را با فرمول (۳-۹) محاسبه می‌کنیم، غالباً در اراضی شالیزاری با نفوذپذیری پایین کمتر از ۶ متر بدست می‌آید. به منظور اجتناب از بالا رفتن هزینه نصب، زهکش‌های زیرزمینی تکمیلی، به شکل استوانه‌ای در زیر زمین ساخته می‌شوند و با کشیدن یک گلوله فلزی داخل خاک و بالای زهکش زیرزمینی ایجاد می‌گردد که زهکش مول (لانه موشی) نامیده می‌شود. ترکیب زهکشهای زیرزمینی و تکمیلی با فرمول زیر طراحی می‌گردد:

$$\frac{1}{s^2} = \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \quad (3-13)$$

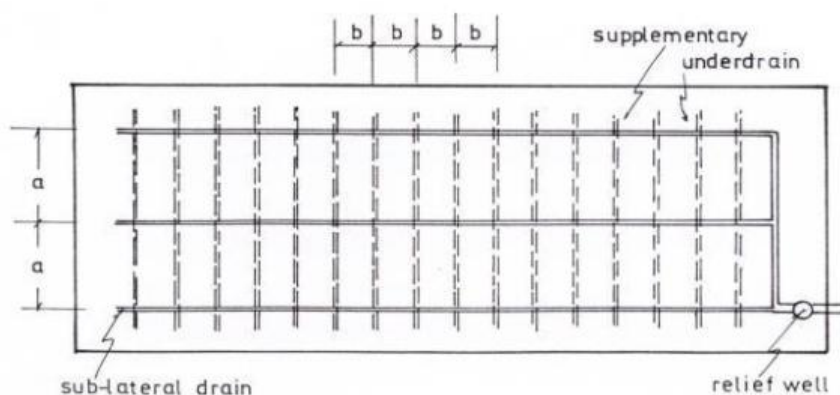
که،

S: فاصله زهکشهای زیرزمینی که با فرمول (۳-۹) محاسبه شده است.

a: فاصله زهکشهای زیرزمینی، زمانی که زهکشهای زیرزمینی مورد نیاز باشد.

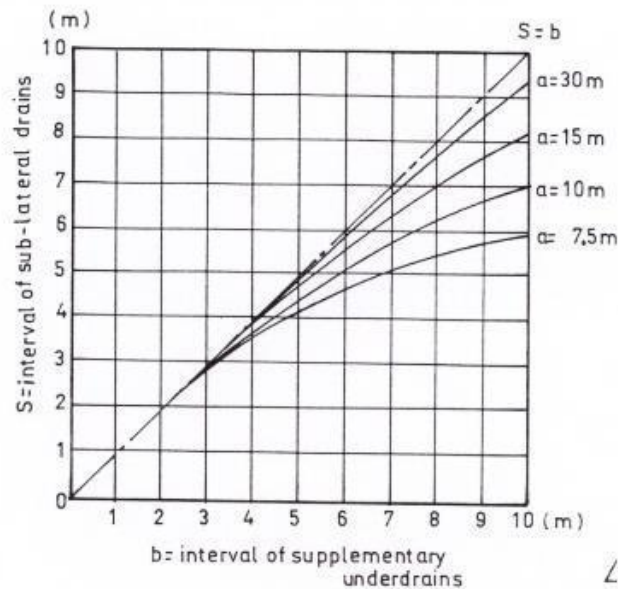
b = فاصله زهکشهای زیرزمینی تکمیلی (متر).

مقادیر a و b همانطور که در شکل زیر نشان داده شده‌اند در مزرعه اندازه‌گیری شده‌اند.



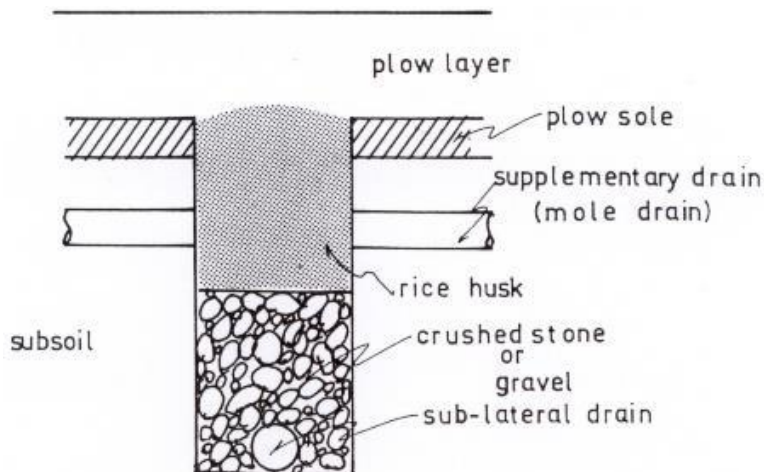
شکل (۳-۱۳) آرایش زهکشهای زیرزمینی ترکیبی

فرمول (۳-۱۳) به گراف داده شده در شکل (۳-۱۴) تغییر یافته است.



شکل (۳-۱۴) رابطه بین فاصله زهکشهای تکمیلی و زهکشهای زیرزمینی

محل تقاطع زهکش تکمیلی و زهکش زیرزمینی با جزئیات کامل در زیر نشان داده شده است:



شکل (۳-۱۵) محل تقاطع زهکش زیرزمینی و زهکش تکمیلی

مثال محاسباتی ۷

از یک مهندس آبیاری خواسته شده تا شبکه زهکشی زیرزمینی در سطح مزرعه طراحی نماید. فاصله زهکش‌های زیرزمینی را با توجه به شرایط زیر تعیین نمایید.

- مزرعه برای کشت برنج مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- نوع خاک مزرعه رسی است.
- عملیات یکپارچه‌سازی اراضی اجرا خواهد شد.
- کشاورز انتظار دارد که همواری زمین پس از یکپارچه‌سازی اراضی ± 5 سانتی‌متر باشد.
- کشاورز از ماشین‌آلات کشاورزی سنگین استفاده خواهد کرد.
- هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در محل 2×10^{-6} سانتی‌متر بر ثانیه است.
- کشاورز انتظار دارد که آب راکد سطحی ظرف حداکثر ۲۴ ساعت تخلیه گردد.
- درز و ترک‌ها در نقاط محدودی از مزرعه مشاهده شده است.
- ضخامت لایه شخم ۲۰ سانتی‌متر برآورد شده است.
- کرت زراعی دارای ابعاد 100×30 متر می‌باشد.
- زهکش زیرزمینی در عمق ۶۰ سانتی‌متری از سطح زمین در بالاترین نقطه کارگذاری لوله واقع شده است.
- دبی طرح زهکش زیرزمینی برابر ۲۰ میلی‌متر در روز می‌باشد.

حل

از فرمول دلاکرویکس و اگینو و موراشیما استفاده می‌کنیم.

(۱) فرمول دلاکرویکس

از فرمول (۳-۶) داریم:

$$\tan \beta = \frac{0.09 + 0.0175 \times 10^5 \times k}{1 + 1.12 \times 10^5 \times k} = \frac{0.09 + 0.0175 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-6}}{1 + 1.12 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-6}}$$

$$= \frac{0.09 + 0.0175 \times 2 \times 10^{-1}}{1 + 1.12 \times 2 \times 10^{-1}} = 0.0764$$

از فرمول (۳-۸) خواهیم داشت:

$$h_1 = \frac{0.35 + 0.16 \times 10^5 \times k}{1 + 1.47 \times 10^5 \times k} = \frac{0.35 + 0.16 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-6}}{1 + 1.47 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-6}} = \frac{0.35 + 0.16 \times 2 \times 10^{-1}}{1 + 1.47 \times 2 \times 10^{-1}} = 0.295$$

از فرمول (۳-۵) خواهیم داشت:

$$S = \frac{\gamma(H_u - h - h_1)}{\tan \beta} \quad (۳-۵)$$

که،

S: فاصله زهکشهای زیرزمینی (m)

 H_u : با توجه به شرایط داده شده در مسئله فاصله از سطح زمین تا زهکش زیرزمینی

برابر ۰/۶ متر است.

h: فاصله از سطح زمین تا حداکثر تراز سطح آب زیرزمینی در نقطه وسط خط رابط بین

دو زهکش زیرزمینی، که فرض شده با ضخامت لایه شخم برابر است = ۰/۲ متر

با جاگذاری داده‌ها در فرمول (۳-۵) داریم:

$$S = \frac{2 \times (0.6 - 0.2 - 0.295)}{0.0764} = 2.75 \text{ (m)}$$

که مقدار ۲/۷۵ متر را به ۲/۵ متر گرد می‌کنیم.

چون عرض کرت ۳۰ متر است لذا بایستی به تعداد $\frac{30}{2.5} = 12$ عدد زهکش زیرزمینی در کرت نصب کرد. که هزینه سنگینی را به همراه خواهد داشت.

(۲) فرمول اگینو و موراشیما

از فرمول (۳-۹) خواهیم داشت:

$$S = 2H_0 \sqrt{\frac{86.4 \times k}{D}} \quad (3-9)$$

که،

H: عمق لایه شخم = ۲۰ سانتیمتر

K: هدایت هیدرولیکی کل کرت زراعی αK_s

k_s : هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در محل $= 2 \times 10^{-6}$ (سانتی‌متر بر ثانیه)

α : ضریب تصحیح که در جدول (۳-۹) داده شده است فرض می‌کنیم که برابر ۵۰۰ باشد. زیرا ترک و شکافهای موجود در سطح مزرعه محدود می‌باشد.

D: دبی طرح زهکشی زیرزمینی = ۲۰ میلیمتر در روز (در مسئله داده شده است).

بنابراین خواهیم داشت:

$$S = 2 \times 20 \times \sqrt{\frac{86.4 \times 500 \times 2 \times 10^{-6}}{20}} = 2.6 \text{ (m)}$$

با مقایسه نتیجه محاسبه شده با مقدار پیشنهادی در جدول (۸-۳)، در می‌یابیم که نتیجه محاسبه شده از نقطه نظر فنی منطقی می‌باشد. هر چند، نصب زهکشهای زیرزمینی با این فاصله کم برای کشاورز مشکل است. به عبارت دیگر، به نظر می‌رسد که نتیجه محاسبات از نظر اقتصادی غیرمنطقی باشد. در نتیجه زهکش‌های زیرزمینی ترکیبی یعنی ایجاد تعداد محدودی زهکشهای زیرزمینی که توسط زهکشهای تکمیلی کمک می‌شوند، به کار برده می‌شود.

۳- مطالعه زهکشهای ترکیبی با استفاده از فرمول آگینو و موراشیما

از فرمول (۱۳-۳) داریم:

$$\frac{1}{s^2} = \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \quad (13-3)$$

که،

S: فاصله زهکشهای زیرزمینی محاسبه شده با فرمول (۱۰-۳) = ۲/۶ متر

a: فاصله زهکشهای زیرزمینی زمانی که زهکشهای تکمیلی ضروری باشد = ۱۰ متر به

منظور آسان کردن طراحی

b: فاصله زهکشهای تکمیلی

پس خواهیم داشت:

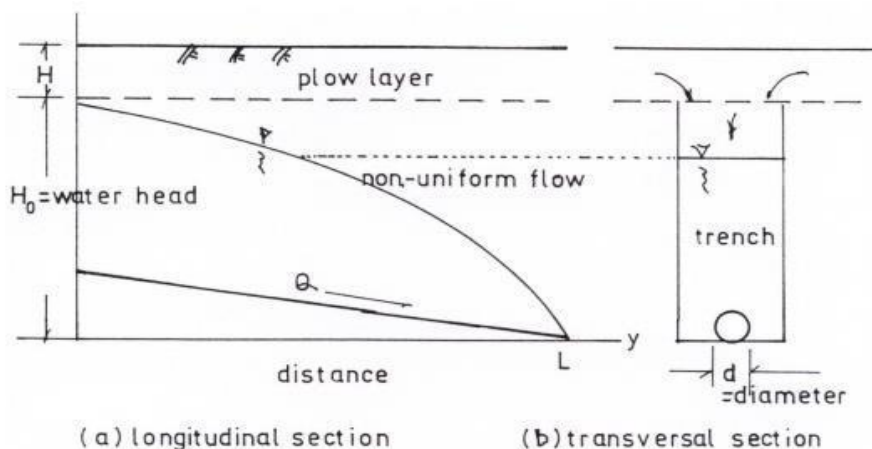
$$\frac{1}{b^2} = \frac{1}{s^2} - \frac{1}{a^2} = \frac{1}{2.6^2} - \frac{1}{10^2} = 0.1379$$

$$b = \sqrt{\frac{1}{0.1379}} = 2.7 \text{ (m)}$$

زمانی که از شکل (۳-۱۴) استفاده می‌کنیم، با در نظر گرفتن $S = 2/6$ متر مقدار b برابر $2/7$ متر خواهد شد. پس مقدار $2/7$ متر را به $2/5$ متر گرد می‌کنیم.

۳-۱۰- فرمول تعیین قطر زهکشهای زیرزمینی

زمانی که فاصله زهکشهای زیرزمینی یا فاصله زهکشهای زیرزمینی تکمیلی محاسبه شد، اقدام به تعیین قطر زهکشهای زیرزمینی می‌کنیم. می‌توان قطر زهکشهای زیرزمینی را با روش سعی و خطا و بر اساس حداقل شیب و دبی زهکش زیرزمینی تعیین کرد. به منظور تسریع در طراحی زهکشهای زیرزمینی در مزارع شالیزاری، دکتر اگینو و موراشیما مدلی ساختند که توانستند نتیجه S ، فاصله زهکشهای زیرزمینی محاسبه شده به وسیله فرمول (۳-۹) را یکی کنند. سعی می‌کنیم تا مدل آنها را مورد مطالعه قرار دهیم.



شکل (۳-۱۶) مدل زهکشی زیرزمینی ارائه شده توسط آگینو و موراشیما

آن‌ها فرض کردند که جریان غیریکنواخت است و دبی زهکشی در یک نقطه اختیاری زهکش زیرزمینی با فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

(فاصله از دورترین نقطه) $y \times$ (فاصله زهکشهای جانبی زیرزمینی) $S \times$ (دبی طرح زهکش زیرزمینی) D بالادست زهکش زیرزمینی تا نقطه اختیاری)

شکل (۱۶-۳) فرضیات بالا را در حالت ماندگاری زهکش زیرزمینی نشان می‌دهد. در ترانشه ای که با سبوس برنج و سنگ شکسته پر شده، آب زهکشی به داخل آن جریان یافته و در داخل آن به سمت پایین و به طرف زهکش حرکت می‌کند. فرض شده که فشار آب در زهکش زیرزمینی به صورت سطح ایستابی بیان شده باشد. فرض شده که آب در زهکش زیرزمینی طبق شیب سطح ایستابی به سمت پایین جریان می‌یابد. همچنین فرض شده که سرعت جریان در زهکش زیرزمینی بر اساس فرمول مانینگ محاسبه شود مشروط بر آنکه زهکش زیرزمینی پر باشد. آن‌ها محور افقی را محور y که نشان دهنده فاصله از دورترین نقطه بالادست زهکش زیرزمینی است و محور عمودی را به عنوان محور بار آبی در نظر گرفتند (زمانی که خروجی زهکش زیرزمینی در دورترین نقطه پایین دست به عنوان نقطه مبنا (از لحاظ ارتفاع) در نظر گرفته شود). دبی Q در نقطه اختیاری که به فاصله y از نقطه شروع بالادست قرار داشته باشد به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$Q = D \times S \times y \quad (14-3)$$

که،

D : دبی طرح زهکشی زیرزمینی

S : فاصله زهکشهای زیرزمینی جانبی

y : فاصله از نقطه شروع بالادست زهکش زیرزمینی جانبی (m)

آن‌ها از فرمول مانینگ رابطه زیر را بدست آوردند:

$$Q = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \times \frac{1}{n} \times \left(\frac{d}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \times \left(-\frac{dh}{dy} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3-15)$$

که،

d: قطر زهکش زیرزمینی (mm)

n: ضریب زبری

از فرمول (۳-۱۴) و فرمول (۳-۱۵) آن‌ها روابط زیر را بدست آوردند:

$$D.S.y = \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{1}{n} \times \left(\frac{d}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \times \left(-\frac{dh}{dy} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$(D.S.y)^2 = \frac{\pi^2 d^4}{4^2} \times \frac{1}{n^2} \times \left(\frac{d}{4} \right)^{\frac{4}{3}} \times \left(-\frac{dh}{dy} \right)$$

$$\frac{2^4 \cdot 2^{2 \times \frac{4}{3}} \cdot (D.S.n)^2 y^2}{\pi^2} = d^{\frac{16}{3}} \cdot \left(-\frac{dh}{dy} \right)$$

$$\frac{2^{\frac{20}{3}} \cdot (D.S.n)^2 y^2 \cdot dy}{\pi^2} = d^{\frac{16}{3}} \cdot (-dh)$$

شرایط مرزی عبارت است از:

$$y = 0, \quad h = H_0, \quad y = L, \quad h = 0$$

با انتگرال گیری از فرمول فوق از $y = 0$ تا $y = L$, آن‌ها رابطه زیر را بدست آوردند:

$$\frac{2^{\frac{20}{3}} \cdot (D.S.n)^2}{\pi^2} \left[\frac{y^3}{3} \right]_0^L = d^{\frac{16}{3}} [-h]_{H_0}^0$$

$$\frac{2^{\frac{20}{3}} \cdot (D.S.n)^2}{\pi^2} \times \frac{L^3}{3} = d^{\frac{16}{3}} \times H_0$$

$$d^{\frac{16}{3}} = \frac{2^{\frac{20}{3}} \cdot (D.S.n)^2}{\pi^2} \times \frac{L^3}{3H_0}$$

$$d^{\frac{16}{3}} = \frac{2^{\frac{16}{3}} \times 2^{\frac{4}{3}} \times (D.S.n)^2}{\pi^2} \times \frac{L^3}{3H_0}$$

$$d = 2 \times \left\{ \frac{2^{\frac{4}{3}} \times (D.S.n)^2}{\pi^2} \times \frac{L^3}{3H_0} \right\}^{\frac{3}{16}}$$

$$d = 2 \times \left\{ \frac{(D.S.n)^2}{\pi^2 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{4}{3}}} \times \frac{L^3}{3H_0} \right\}^{\frac{3}{16}}$$

$$d = 2 \times \left\{ \left(\frac{D \cdot S \cdot n}{C} \right)^2 \times \frac{L^3}{3H_0} \right\}^{\frac{3}{16}} \quad (۳-۱۶)$$

$$C = \pi \times \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{2}{3}} = 1.979$$

H : بار آبی در نقطه شروع بالادست زهکش زیرزمینی، که غالباً بین $۰/۴ - ۰/۶$ متر فرض می‌شود، یعنی (ضخامت لایه شخم - عمق نصب زهکش زیرزمینی). بنابراین جریان از لایه شخم تا قسمت پر شده ترانشه نمی‌تواند تحت تأثیر قرار بگیرد. اگر زهکش زیرزمینی ترکیبی به کار رود، H بین $۰/۳$ متر تا $۰/۵$ خواهد بود یعنی:

(عمق نصب زهکش تکمیلی) - (عمق نصب زهکش زیرزمینی)

L : طول زهکش زیرزمینی، که فرض شده برابر طول کرت زراعی باشد، هرچند زهکش زیرزمینی در فاصله $۴-۵$ متری مرز طرفین کرت کار گذاشته می‌شود. این فاصله حاشیه‌ای از مرز بدلیل مشکل مدیریت اجرا پذیرفته شده است. لازم به ذکر است که ماشین‌آلات برای نصب لوله نیاز به فضای کار مناسب دارند. فاصله حاشیه‌ای نیز از نظر هیدرولیکی پذیرفته شده است، زیرا یک زهکش زیرزمینی می‌تواند آب نگه داشته شده در خاک را به شعاع ۴ الی ۵ متر جمع‌آوری نماید.

D : دبی طرح زهکش زیرزمینی (میلیمتر در روز)

S : فاصله زهکشهای زیرزمینی که با فرمول $(۳-۹)$ محاسبه شده است:

$$S = \gamma H \cdot \sqrt{\frac{86/4 \times k}{D}} \quad (3-9)$$

که،

H: عمق لایه شخم (cm)

$$K = \alpha \cdot K_s$$

α : ضریب تصحیح داده شده در جدول (3-9)

K_s : هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در محل ($\frac{cm}{sec}$)

همان‌گونه که در فرضیات مربوط به فرمولهای (3-14) و (3-15) ذکر شد، زهکش زیرزمینی بایستی پر آب باشد. اما کل طول زهکش زیرزمینی به طور دائم از آب زهکشی پر نمی‌باشد. بنابراین یک ضریب اطمینان برای آن در نظر گرفته می‌شود. باید گفت که یک زهکش زیرزمینی که قطر آن با فرمول (3-16) محاسبه شده صرفاً مقدار ۷۰ تا ۸۰٪ آب زهکشی را با توجه به دبی زهکش زیرزمینی مورد نیاز واقعی انتقال می‌دهد. این حالت را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

با استفاده از فرمول مانینگ، مقدار دبی Q به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q = A \cdot V$$

که،

Q: دبی

A: سطح مقطع

$$V: \text{سرعت متوسط} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

$$R: \text{عمق هیدرولیکی متوسط} = \text{برای مقطع دایره‌ای} = \frac{d}{4}$$

D: قطر

I: شیب هیدرولیکی

ن: ضریب زبری

بنابراین در یک لوله با مقطع دایره‌ای دبی با فرمول زیر بیان می‌گردد:

$$Q = \frac{\pi d^5}{4} \times \frac{1}{n} \times \left(\frac{d}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \times (I)^{\frac{1}{2}} \quad (3-17)$$

با قرار دادن Q_D برابر با دبی مورد نیاز واقعی و Q دبی محاسبه شده با فرض اینکه زهکش زیرزمینی پر باشد رابطه زیر برقرار است:

$$Q_D = Q \quad (\text{از } 0.7 \text{ تا } 0.8)$$

با قرار دادن d_D برابر با قطر زهکش زیرزمینی واقعی مورد نیاز نصب شده، خواهیم داشت:

$$(\text{از } 0.7 \text{ تا } 0.8) \times \frac{1}{n} \cdot \frac{\pi d_D^2}{4} \times \left(\frac{d_D}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \times (I)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \times \left(\frac{d}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \times (I)^{\frac{1}{2}}$$

$$(\text{از } 0.7 \text{ تا } 0.8) \times d_D^{\frac{8}{3}} = d^{\frac{8}{3}}$$

$$d_D = d \times \left\{ \left(\frac{1}{0.7} \right)^{\frac{3}{8}} \text{ تا } \left(\frac{1}{0.8} \right)^{\frac{3}{8}} \right\}$$

$$(۱/۱۴۳ \text{ تا } ۱/۰۹) \times d \quad (۳-۱۸)$$

مثال محاسباتی ۸

قطر تنوری زهکشهای زیرزمینی را با شرایط طراحی زیر محاسبه نمائید.

$$L = \text{طول زهکش زیرزمینی} = ۱۰۰ \text{ (متر)}$$

$$S = \text{فاصله زهکشهای زیرزمینی} = ۷/۵, ۱۰, ۱۵, ۳۰ \text{ (متر)}$$

$$D = \text{دبی طرح زهکش زیرزمینی} = ۳۰, ۲۰, ۵۰, ۷۰, ۱۰۰, ۱۵۰, ۲۰۰ \text{ (mm/day)}$$

$$H_0 = 0.6(m) - 0.2(m) = 0.4(m)$$

$$n = \text{ضریب زبری} = ۰/۰۲$$

حل

از فرمول (۳-۱۶) داریم:

$$d = 2 \times \left\{ \left(\frac{D \times S \times n}{c} \right)^2 \times \frac{L^3}{3H_0} \right\}^{\frac{3}{16}} \quad (۳-۱۶)$$

که،

$$C = \pi \times \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{2}{3}} = 1.979$$

در حالتی که $L = ۱۰۰$ متر و $S = ۷/۵$ متر و D برابر ۲۰ میلیمتر در روز باشد خواهیم داشت:

$$d = 2 \times \left\{ \left(\frac{20 \times 7.5 \times 0.02}{1.979} \right)^2 \times \frac{100^3}{3 \times 0.04} \right\}^{\frac{3}{16}} = 30 \text{ (mm)}$$

قطرهای محاسبه شده زهکشهای زیرزمینی (بر حسب میلیمتر)

L = 100 (m)				دبی طرح زهکش زیرزمینی (D) (mm/day)
فاصله زهکش‌های زیرزمینی ((m)S)				
۳۰ متر	۱۵ متر	۱۰ متر	۷/۵ متر	
۵۱	۳۹	۳۴	۳۰	۲۰
۵۹	۴۶	۳۹	۳۵	۳۰
۷۲	۵۵	۴۷	۴۳	۵۰
۸۱	۶۳	۵۴	۴۹	۷۰
۹۳	۷۲	۶۱	۵۵	۱۰۰
۱۰۸	۸۴	۷۳	۶۴	۱۵۰
۱۲۱	۹۳	۸۰	۷۲	۲۰۰

مثال محاسباتی ۹

قطر مناسب لوله زهکشی را با توجه به لوله‌های استاندارد موجود در بازار و با نتایج مسئله ۱۲ محاسبه کنید.

قطر لوله‌های موجود در بازار به شرح زیر می‌باشد:

۴۰، ۵۰، ۶۰، ۶۵، ۷۵، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰ (میلیمتر)

حل

فرمول (۳-۱۸) را به منظور انتخاب قطر لوله‌ای که واقعاً در مزرعه نصب می‌شود به کار می‌بریم.

برای مثال قطر تئوری ۳۰ میلیمتر با توجه به $D = ۲۰$ میلیمتر در روز و $S = ۷/۵$.

با ضرب کردن ۳۰ میلیمتر در $۱/۰۹$ در فرمول (۳-۱۸) خواهیم داشت:

$$30 \times 1.09 = 32.7 \text{ (mm)}$$

چون حداقل قطر لوله ۴۰ میلیمتر است لذا قطر ۴۰ میلیمتر پذیرفته می‌شود.

نتایج محاسبه شده قطر در حالتی که ضریب اطمینان $= 1/0.9$ باشد (بر حسب میلیمتر)

L = 100 (m)				D (mm/day)
S (m)				
۳۰ متر	۱۵ متر	۱۰ متر	۷/۵ متر	
۶۰	۵۰	۴۰	۴۰	۲۰
۶۵	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰
۸۰	۶۰	۶۰	۵۰	۵۰
۱۰۰	۷۵	۶۰	۶۰	۷۰
۱۲۵	۸۰	۷۵	۶۰	۱۰۰
۱۲۵	۱۰۰	۸۰	۷۵	۱۵۰
۱۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۸۰	۲۰۰

ملاحظه:

اگر d کوچکتر از ۵۰ میلیمتر باشد، مقدار $d = ۵۰$ میلیمتر را به کار می‌بریم.

نتایج محاسبه شده قطر زهکشی در حالتی که ضریب اطمینان $= 1/1.43$ (بر حسب mm)

L = 100 (m)				D (mm/day)
S (m)				
۳۰ متر	۱۵ متر	۱۰ متر	۷/۵ متر	
۶۰	۵۰	۴۰	۴۰	۲۰
۷۵	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰
۱۰۰	۶۵	۶۰	۵۰	۵۰
۱۰۰	۷۵	۶۵	۶۰	۷۰
۱۲۵	۱۰۰	۷۵	۶۵	۱۰۰
۱۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۱۵۰
۱۵۰	۱۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰

ملاحظه:

اگر d کوچک‌تر از ۵۰ میلیمتر باشد، مقدار d برابر ۵۰ میلیمتر را به کار می‌بریم.

زمانی که فرمول (۳-۱۸) را به دست آوردیم، صرف‌نظر از دوره زمانی استفاده از زهکشهای زیرزمینی فرض کردیم که زهکش زیرزمینی در حالت پر می‌باشد. بنابراین فرض دیگری مطرح می‌شود که زهکش زیرزمینی که قطر آن از فرمول (۳-۱۶) محاسبه شده تنها قادر است که ۷۰ تا ۸۰ درصد مقدار آب را با توجه به دبی مورد نیاز زهکشی زیرزمینی انتقال دهد. در ارتباط با فرض فوق، می‌توان فرض دیگری را مطرح کرد که جریان آب با عمق ۷۰ تا ۸۰ درصد قطر لوله زهکشی با در نظر گرفتن کاهش سطح مقطع عرضی آن از لوله عبور می‌کند. این حالت را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

زمانی که یک لوله در حالت نیمه پر است فرمول مانینگ را برای محاسبه دبی و سرعت به کار می‌بریم، زیرا لوله به صورت یک کانال روباز خواهد بود، لازم به ذکر است که جریان در لوله با هوا در تماس است. چون محاسبات مربوط به لوله پیچیده است، غالباً از جدول محاسباتی استفاده می‌شود:

به کارگیری فرمول مانینگ برای یک لوله:

$$Q = \frac{1}{n} \times (r)^{\frac{4}{3}} \times (I)^{\frac{1}{2}} \times \alpha \quad (3-19)$$

$$V = \frac{1}{n} \times (r)^{\frac{2}{3}} \times (I)^{\frac{1}{2}} \times \beta \quad (3-20)$$

که،

Q : دبی (m^3/sec)

n : ضریب زبری

I : شیب هیدرولیکی

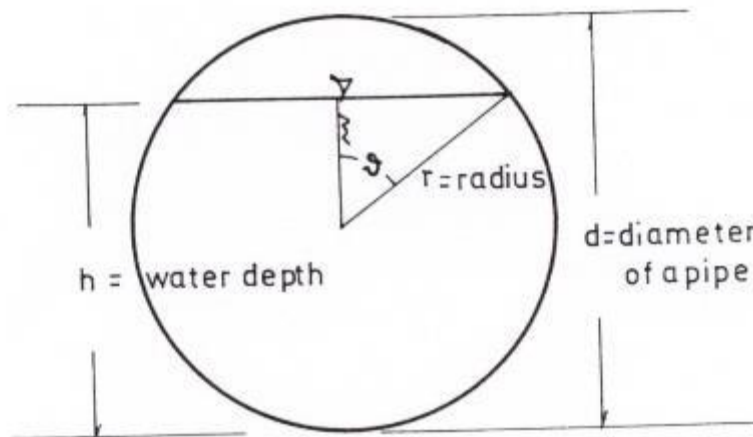
V : سرعت $(\frac{m}{sec})$

$$\alpha = \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)^{\frac{5}{2}}}{\{2(\pi - \theta)\}^{\frac{2}{3}}} \quad (3-21)$$

$$\beta = \left\{ \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)}{2(\pi - \theta)} \right\}^{\frac{2}{3}} \quad (3-22)$$

H : عمق آب در لوله (m)

پارامترهای r ، θ و h در شکل (۳-۱۷) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۷) r ، θ و h در یک لوله

مثال محاسباتی ۱۰

مقادیر α و β را چنانچه عمق آب ۷۰٪ و ۸۰٪ قطر لوله باشد محاسبه کنید.

حل

h_x را برابر فاصله سطح آب تا مرکز لوله در نظر می‌گیریم.

(الف) در حالتی که $\frac{h}{2r} = 0.7$ باشد.

$$h = r + h_x$$

$$\frac{h}{2r} = 0.7 \Rightarrow h = 1.25 r$$

با جاگذاری $h = 1.25 r$ در فرمول (الف) داریم:

$$1.25 r = r + h_x$$

$$h_x = 1.25 r - r = 0.4 r$$

از شکل (۱۷-۳) خواهیم داشت:

$$r \cos \theta = h_x$$

$$\cos \theta = \frac{h_x}{r} = \frac{0.4 r}{r} = 0.4$$

$$\theta = \arccos(0.4) = 66.42182^\circ = 1.1593$$

(رادیان)

$$\sin \theta = 0.9165$$

$$\alpha = \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)^{\frac{5}{3}}}{\{2 (\pi - \theta)\}^{\frac{2}{3}}} = \frac{(3.1416 - 1.1593 + 0.9165 \times 0.4)^{\frac{5}{3}}}{\{2 (3.1416 - 1.1593)\}^{\frac{2}{3}}} = 1.6569$$

$$\beta = \left\{ \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)}{2 (\pi - \theta)} \right\}^{\frac{2}{3}} = \left\{ \frac{(3.1416 - 1.1593 + 0.9165 \times 0.4)}{2 (3.1416 - 1.1593)} \right\}^{\frac{2}{3}} = 0.7054$$

$$\frac{h}{2r} = 0.8 \text{ (ب) در حالتی که}$$

$$\cos \theta = \frac{h_x}{r} = \frac{0.6r}{r} = 0.6$$

$$\sin \theta = 0.8, \theta = \arccos(0.6) = 53.13010^\circ = 0.9273 \text{ رادیان}$$

$$\alpha = \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)^{\frac{5}{3}}}{\{2 (\pi - \theta)\}^{\frac{2}{3}}} = \frac{(3.1416 - 0.9273 + 0.8 \times 0.6)^{\frac{5}{3}}}{\{2 (3.1416 - 0.9273)\}^{\frac{2}{3}}} = 1.9345$$

$$\beta = \left\{ \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)}{2 (\pi - \theta)} \right\}^{\frac{2}{3}} = \left\{ \frac{(3.1416 - 0.9273 + 0.8 \times 0.6)}{2 (3.1416 - 0.9273)} \right\}^{\frac{2}{3}} = 0.7180$$

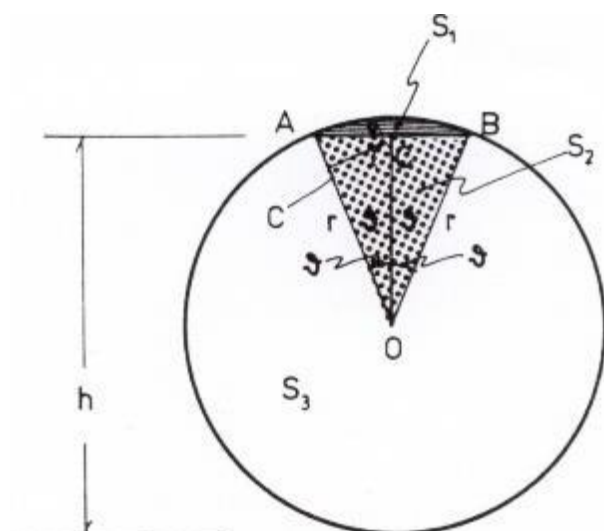
مقادیر α و β در جدول (۱۱-۳) داده شده است.

جدول (۱۱-۳) مقادیر α و β با توجه به مقدار $\frac{h}{2r}$

β	α	$\frac{h}{2r}$
۰/۶۲۹۹۶	۰/۹۸۹۵۴	۰/۵
۰/۶۵۴۷۳	۱/۱۵۹۱۷	۰/۵۵
۰/۶۷۵۵۸	۱/۳۲۹۶۲	۰/۶
۰/۶۹۲۵۱	۱/۴۹۶۹۹	۰/۶۵
۰/۷۰۵۴۱	۱/۶۵۶۹۶	۰/۷
۰/۷۱۴۰۴	۱/۸۰۴۶۸	۰/۷۵
۰/۷۱۷۹۹	۱/۹۳۴۴۸	۰/۸
۰/۷۱۶۵۳	۲/۰۳۹۳۲	۰/۸۵
۰/۷۰۸۲۷	۲/۱۰۹۲۹	۰/۹
۰/۶۸۹۸۰	۲/۱۲۶۵۵	۰/۹۵
۰/۶۲۹۹۶	۱/۹۷۹۰۷	۱/۰۰

مثال محاسباتی ۱۱

فرمول (۳-۱۹)، (۳-۲۰)، (۳-۲۱) و (۳-۲۲) را برای محاسبه سرعت و دبی در یک لوله نیمه پر بدست آورید.



حل

شکل (۳-۱۸) جریان در لوله با سطح آزاد

از فرمول مانینگ، V سرعت جریان به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \quad (\text{الف})$$

که،

V : سرعت

n : ضریب زبری

$$\frac{A}{P} = R \quad \text{R: میانگین عمق هیدرولیکی}$$

A : سطح مقطع عرضی جریان

P : محیط خیس شده

I : شیب هیدرولیکی

از شکل (۱۸-۳) مقدار P را محاسبه می‌کنیم:

$$P = (\text{محیط دایره}) - (\text{کمان } AB) = 2\pi r - 2r\theta = 2(\pi - \theta)r \quad (\text{ب})$$

سپس سطح مقطع جریان را محاسبه می‌نمائیم:

$A = (\text{سطح محصور بین کمان } AB \text{ و خط مستقیم } AB) - (\text{سطح مقطع لوله})$

$$= (S_r + S_r + S_\lambda) - (S_\lambda) = \pi r^2 - S_\lambda \quad (\text{ج})$$

$$S_\lambda = (S_\lambda + S_r) - S_r$$

$$= (\text{مساحت مثلث AOB}) - (\text{مساحت قطاع AOB})$$

$$= r^2 \theta - r \cos \theta \times r \sin \theta \times \frac{1}{2} \times 2 = r^2 \theta - r^2 \sin \theta \cos \theta \quad (\text{د})$$

با جاگذاری فرمول (د) در فرمول (ج) خواهیم داشت:

$$A = \pi r^2 - (r^2 \theta - r^2 \sin \theta \cos \theta) = \pi r^2 - \theta r^2 + r^2 \sin \theta \cos \theta$$

$$= r^2 (\pi - \theta + \sin \theta \cos \theta) \quad (\text{هـ})$$

بنابراین مقدار R برابر است با:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{r^2 (\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)}{2r(\pi - \theta)} = \frac{r(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)}{2(\pi - \theta)} \quad (\text{و})$$

با جاگذاری فرمول (و) در فرمول (الف) داریم:

$$V = \frac{1}{n} \left\{ \frac{r(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)}{2(\pi - \theta)} \right\}^{\frac{2}{3}} \times (I)^{\frac{1}{3}}$$

$$V = \frac{1}{n} (r)^{\frac{2}{3}} \left\{ \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)}{2(\pi - \theta)} \right\}^{\frac{2}{3}} \times (I)^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{اگر } \beta = \left\{ \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)}{2(\pi - \theta)} \right\}^{\frac{2}{3}} \text{ خواهیم داشت:}$$

$$V = \frac{1}{n} \times (r)^{\frac{2}{3}} \times (I)^{\frac{1}{2}} \times \beta . \quad (3-20)$$

چون $Q = A \cdot V$ ، فرمول زیر با استفاده از فرمول (و) بدست می‌آید:

$$Q = A \cdot V = r^{\frac{2}{3}} (\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta) \times \frac{1}{n} (r)^{\frac{2}{3}} \left\{ \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)}{2(\pi - \theta)} \right\}^{\frac{2}{3}} \times (I)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{1}{n} (r)^{\frac{4}{3}} \times (I)^{\frac{1}{2}} \times \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)^{\frac{5}{3}}}{\{2(\pi - \theta)\}^{\frac{2}{3}}}$$

$$\text{اگر } \alpha = \frac{(\pi - \theta + \sin \theta \cdot \cos \theta)^{\frac{5}{3}}}{\{2(\pi - \theta)\}^{\frac{2}{3}}} \text{ خواهیم داشت:}$$

$$Q = \frac{1}{n} \times (r)^{\frac{4}{3}} \times (I)^{\frac{1}{2}} \times \alpha \quad (3-19)$$

مثال محاسباتی ۱۲

از یک مهندس آبیاری خواسته شده که شبکه زهکش زیرزمینی در سطح مزرعه را طراحی نماید. فاصله زهکشها، قطر لوله زهکشی و شیب طولی زهکشهای زیرزمینی و شیب طولی زهکش جمع‌کننده را در شرایط زیر تعیین نمائید.

– مزرعه برای کشت برنج مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- یکپارچه سازی اراضی با هدف دستیابی به همواری ± 5 سانتیمتر صورت گرفته است.
- مالک زمین از ماشین آلات کشاورزی سنگین استفاده می کند.
- آب باقی مانده در سطح زمین کشاورزی بایستی ظرف مدت ۲۴ ساعت تخلیه گردد.
- هدایت هیدرولیکی اندازه گیری شده در محل 3×10^{-3} سانتیمتر بر ثانیه است.
- در سطح مزرعه شکاف و ترک های زیادی مشاهده شده است.
- ضخامت لایه سطحی (لایه شخم) ۲۰ سانتیمتر برآورد شده است.
- حداکثر بارندگی متوالی سه روزه با احتمال $\frac{1}{3}$ برابر $225/5$ میلیمتر تخمین زده شد.
- نسبت مقدار آب سطحی نفوذ کرده به خاک به مقدار آب زهکشی ناشی از بارندگی $\frac{1}{3}$ فرض شده است.
- تعداد روزهای مورد نیاز برای زهکشی زیرزمینی ۷ روز می باشد.
- ابعاد کرت 30×100 متر می باشد.

حل

چون مزرعه برای کشت برنج می باشد لذا از فرمول اگینو و موراشیما استفاده می کنیم که مفیدتر از فرمول دلاکرویکس می باشد.

(الف) محاسبه فاصله زهکشهای زیرزمینی

فرمول (۳-۹) را بکار می بریم:

$$S = 2H \sqrt{\frac{86.4 \times K}{D}} \quad (9-3)$$

که:

S: فاصله بین زهکش‌های زیرزمینی (متر)

H: عمق لایه ضخیم = ۲۰ سانتیمتر

K: هدایت هیدرولیکی کل یک کرت زراعی $\alpha \times K_s$

K_s : هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در محل $(cm/sec) = 3 \times 10^{-5}$

α : ضریب تصحیح، بدلیل اینکه ترک‌ها و شکاف‌ها به مقدار زیادی در سطح مزرعه گسترش یافته‌اند، مقدار آن از جدول (۳-۹) برابر ۵۰۰ اختیار می‌شود.

D: دبی طراحی زهکشی زیرزمینی = ۲۰ میلیمتر در روز (با توجه به آزمایشات اگینو و موراشیما که شرایط همواری زمین ± 5 سانتیمتر است).

با جایگذاری داده‌ها در فرمول (۳-۹) خواهیم داشت:

$$S = 2 \times 20 \sqrt{\frac{86.4 \times 500 \times 3 \times 10^{-5}}{20}} = 10.2 \text{ (m)}$$

مقدار فوق را به ۱۰ متر گرد می‌کنیم.

(ب) انتخاب قطرلوله زهکش زیرزمینی جانبی

فرمول (۳-۱۶) را به کار می‌بریم:

$$d = 2 \times \left\{ \left(\frac{D \cdot S \cdot n}{C} \right)^2 \times \frac{L^3}{3H_o} \right\}^{\frac{3}{16}} \quad (3-16)$$

که:

H_0 : در صورت ضروری بودن زهکشی زیر زمینی ترکیبی ارتفاع آب در نقطه شروع زهکش زیرزمینی در بالادست، که از کم کردن عمق نصب زهکش زیرزمینی از ضخامت لایه شخم برابر $0/4$ متر بدست می‌آید.

L : طول زهکش زیرزمینی جانبی که فرض شده برابر طول کرت (100 متر) باشد.

$$C = \pi \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2}{3}} = 1.979$$

D : دبی طرح زهکشی زیرزمینی = 20 میلیمتر در روز (براساس آزمایشات آگینو و موراшіما زمانی که همواری سطح زمین $5 \pm$ سانتیمتر باشد).

S : 10 متر که از حل بند (الف) بدست آمده است.

n : ضریب زبری زهکش زیرزمینی جانبی = $0/016$ که برای اطمینان بیشتر این ضریب در نظر گرفته شده است.

جدول (۳-۱۲) ضریب زبری در فرمول مانینگ (کلیه مصالح نو و تازه می‌باشد)

نوع لوله	n ضریب زبری
۱. بتن	از $0/012$ تا $0/016$
۲. سفال	از $0/01$ تا $0/016$
۳. بتن مسلح گریز از مرکزی (هیوم)	$0/013$
۴. لوله از جنس چینی	$0/014$
۵. لوله بیسکوییتی	$0/013$
۶. پی‌وی‌سی (پلیکا)	$0/012$
۷. لوله موجدار	$0/016$

بنابراین خواهیم داشت:

$$d = 2 \times \left\{ \left(\frac{20 \times 10 \times 0.016}{1.979} \right)^2 \times \frac{100^3}{3 \times 0.4} \right\}^{\frac{3}{16}} = 31 \text{ (mm)}$$

چون حداقل قطر لوله زهکش ۵۰ میلیمتر است، بنابراین مقدار ۳۱ میلیمتر را به ۵۰ میلیمتر گرد می‌کنیم.

(ج) تعیین دبی واحد زهکش‌های زیرزمینی

(ج-۱) تخلیه آب باقیمانده روی سطح زمین

فرمول (۳-۱۱) را به کار می‌بریم:

$$q_s = \frac{D \times 100 \times 100}{N \times 60 \times 60 \times 24} \quad (3-11)$$

که:

q_s : دبی واحد زهکش زیرزمینی، زمانی که آب باقیمانده روی سطح زمین از طریق زهکش‌های زیرزمینی در دوره زمانی مجاز تخلیه گردد (لیتر در ثانیه در هکتار).

D : دبی زهکشی زیرزمینی طرح = ۲۰ میلیمتر در روز بر اساس آزمایشات اگینو و موراşıما

N : دوره زمانی مجاز برای تخلیه آب باقیمانده = یک روز با توجه به خواسته کشاورز، بنابراین،

$$q_s = \frac{20 \times 100 \times 100}{1 \times 60 \times 60 \times 24} = 2.3 \text{ (liters / sec / ha)}$$

(ج-۲) تخلیه آب اضافی باقیمانده در خاک

فرمول (۱۲-۳) را به کار می‌بریم:

$$q_G = \frac{R \times P \times 100 \times 100 \times 10^3}{N \times 10^3 \times 60 \times 60 \times 24}$$

که،

q_G : دبی زهکشی زیرزمینی واحد، زمانی که تراز سطح آب ثقلی در خاک تا تراز سطح آب طرح در یک دوره زمانی مجاز نزول می‌کند (لیتر در ثانیه در هکتار)

$$R = \frac{225.5 \text{ (mm/day)}}{3 \text{ (day)}} \text{ (میلیمتر در روز)} = 75.2 = \text{بارندگی روزانه طرح}$$

P: نسبت مقدار آب نفوذ کرده در خاک به مقدار آب باران زهکشی شده = $\frac{1}{3}$ که در مسئله داده شده است.

N: تعداد روزهای مورد نیاز برای زهکشی زیرزمینی = ۷ روز

بنابراین خواهیم داشت:

$$q_G = \frac{75.2 \times \frac{1}{3} \times 100 \times 100}{7 \times 60 \times 60 \times 24} = 0.41 \text{ (lit / sec / ha)}$$

چون $q_S > q_G$ بنابراین $q_S = 2.3$ لیتر در ثانیه در هکتار به عنوان مقدار طرحی پذیرفته می‌شود.

د) تعیین دبی تخلیه به وسیله زهکش زیرزمینی

چون S ، فاصله بین زهکشهای زیرزمینی برابر ۱۰ متر است. برای کرتی که عرض آن ۳۰ متر است بایستی سه زهکش زیرزمینی جانبی در نظر گرفت. مساحت یک کرت برابر ۳۰۰۰ مترمربع می‌باشد.

چون q_S به صورت دبی در واحد هکتار بیان شد، لذا آن را به دبی در واحد ۰/۳ هکتار تبدیل می‌کنیم. بنابراین خواهیم داشت:

$$2/3 \text{ (lit / sec/ ha)} \times \frac{0.3}{1.0} = 0.69 \text{ (lit / sec/ 0/3ha)}$$

لذا یک لوله زهکش زیرزمینی بایستی $\frac{0.9}{3} = 0.23$ لیتر در ثانیه در واحد زهکش زیرزمینی را جمع‌آوری نماید.

هـ) تعیین شیب طول زهکش زیرزمینی جانبی

فرمول اگینو و موراشیما با فرض اینکه زهکش زیرزمینی جانبی از آب پر شده توسعه یافته است. اما، جریان در لوله زهکش جانبی نیمه‌پر است. بنابراین بایستی بررسی کرد که آیا یک زهکش زیرزمینی می‌تواند مقدار آب ۰/۲۳ (لیتر در ثانیه در واحد زهکش زیرزمینی) را در دامنه سرعت بین ۰/۲ تا ۱ متر بر ثانیه و با عمق آب ۰/۷ یا ۰/۸ ضربدر (قطر زهکش زیرزمینی) انتقال دهد یا خیر.

(هـ - ۱) در حالتی که عمق آب در زهکش زیرزمینی جانبی $d \times 0/8 =$

شیب به اندازه‌ای در نظر گرفته می‌شود که سرعت برابر 0.2 متر بر ثانیه گردد.

فرمول (۳-۲۰) به کار برده می‌شود:

$$V = \frac{1}{n} \times r^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times \beta \quad (3-20)$$

که:

n : ضریب زبری = 0.16 که یک ضریب مطمئن تری در نظر گرفته شده است.

$$r = \frac{1}{2} d$$

$$d = 50 \text{ mm} = \frac{5}{100} \text{ m}$$

سرعت که 0.2 متر بر ثانیه فرض شده است. $V =$

از جدول (۴-۱۵)، 0.718 می‌باشد. $\beta =$

فرمول (۳-۲۰) به صورت زیر تغییر می‌کند:

$$nV = \frac{1}{1} \times r^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times \beta$$

$$I = \left\{ \frac{n \cdot V}{\beta \times r^{\frac{2}{3}}} \right\}^2 = \left\{ \frac{0.016 \times 0.2}{0.718 \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{5}{100} \right)^{\frac{2}{3}}} \right\}^2 = 0.0027 = \frac{1}{368}$$

مقدار $\frac{1}{368}$ به $\frac{1}{350}$ گرد می‌شود.

بنابراین دبی زهکش زیرزمینی محاسبه می‌شود. فرمول (۳-۱۹) به کار می‌رود:

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{\frac{1}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times \alpha \quad (3-19)$$

که،

Q: دبی (m³/sec)

n: ضریب زبری = ۰/۰۱۶

r: شعاع لوله زهکش زیرزمینی = $\frac{1}{2} \times \frac{5}{100}$ متر

I: شیب هیدرولیکی = $\frac{1}{350}$

α : ۱/۹۳۴۵

با جاگذاری داده‌ها در فرمول (۳-۱۹) خواهیم داشت:

$$Q = \frac{1}{0.016} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{5}{100} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{1}{350} \right)^{\frac{1}{2}} \times 1.9345 = 0.0003 \text{ (m}^3 \text{ / sec)} = 0.35 \text{ (lit / sec)}$$

چون Q برآورد شده برابر ۰/۳۵ لیتر در ثانیه، بزرگ‌تر از حداقل دبی مورد نیاز یعنی ۰/۲۳ لیتر در ثانیه است. می‌توان نتیجه برآورد شده را به عنوان یک مقدار طراحی پذیرفت.

(هـ - ۲) در حالت عمق آب در زهکش جانبی زیرزمینی $0.7 \times d =$

فرمول (۳-۲۰) بکار برده می‌شود.

$$V = \frac{1}{n} \times r^{\frac{1}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times \beta \quad (3-20)$$

وقتی که $\frac{h}{d} = 0.7$ ، $\beta = 0.7054$ به کار برده می‌شود.

$$I = \left\{ \frac{n \cdot V}{\beta \times r^{\frac{2}{3}}} \right\}^2 = \left\{ \frac{0.016 \times 0.2}{0.7054 \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{5}{100} \right)^{\frac{2}{3}}} \right\}^2 = 0.0028 = \frac{1}{355}$$

مقدار $\frac{1}{355}$ را به $\frac{1}{350}$ گرد می‌کنیم.

برای Q، فرمول (۳-۱۹) به کار برده می‌شود:

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{\frac{1}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times \alpha \quad (۳-۱۹)$$

که،

$\alpha = 1.6570$ از جدول (۳-۱۱) بدست می‌آید.

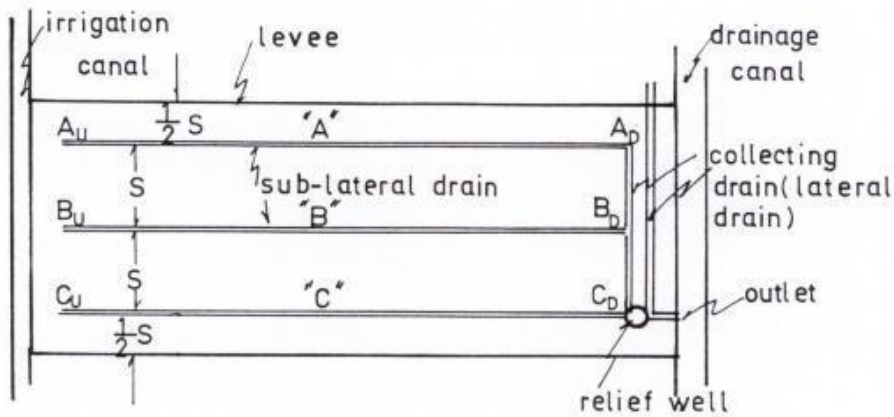
$$Q = \frac{1}{0.016} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{5}{100} \right)^{\frac{8}{3}} \times \left(\frac{1}{350} \right)^{\frac{1}{2}} \times 1.6570 = 0.0003 (m^3 / sec)$$

$$= 0.3 (lit / sec) > 0.23 (lit / sec)$$

نتیجه بدست آمده را می‌توان به عنوان مقدار طراحی پذیرفت.

(و) طراحی زهکش جمع‌کننده

زهکش‌های جانبی زیرزمینی که در فواصل ۱۰ متری از یکدیگر قرار گرفته‌اند به یک زهکش جمع‌کننده متصل می‌گردند (شکل (۳-۱۹)).



شکل (۳-۱۹) شبکه زهکشی مزرعه با چاهک مشاهده

سه زهکش زیرزمینی جانبی را به ترتیب، زهکش زیرزمینی جانبی A، زهکش زیرزمینی جانبی B، زهکش زیرزمینی جانبی C می‌نامیم. زهکش زیرزمینی جانبی A در نقطه بالادست زهکش جمع‌کننده به آن وصل می‌گردد. زهکش جانبی B در وسط زهکش جمع‌کننده به آن متصل می‌گردد و زهکش زیرزمینی جانبی C در نقطه پایین‌دست زهکش جمع‌کننده به آن متصل می‌گردد و از چاهک مشاهده عبور کرده و آب زهکشی را از زهکش جمع‌کننده به خروجی تخلیه می‌کند.

دورترین نقطه در بالادست زهکش را A_u و B_u و C_u و نقاط اتصال زهکشهای جانبی را به زهکش جمع‌کننده به ترتیب A_d ، B_d و C_d می‌نامیم.

برای مقطع بین A_d و B_d ، فرض می‌کنیم که زهکش جمع‌کننده آب را از سطح مستطیلی

$$\left\{ \left(\frac{1}{2} S + S \right) \times S \right\} = \left\{ \left(\frac{1}{2} \times 10 + 10 \right) \times 10 \right\} = 150 \text{ (m}^2\text{)}$$

تخلیه می‌کند که معادل

$$2.3 \times \frac{150}{10000} = 0.0345 \text{ (lit / sec)}$$

بنابراین میزان دبی زهکشی زیرزمینی در نقطه B_D را محاسبه می‌نمائیم.

$$(دبی \text{ بین } A_D \text{ و نقطه } B_D) + (دبی \text{ بین } A_D \text{ و نقطه } A_u) = 0.23 + 0.0345 = 0.265 \text{ (lit/sec)}$$

نقطه A_u و نقطه A_D

با مقایسه مقدار 0.265 لیتر در ثانیه با نتیجه (هـ - ۱) که برابر 0.35 لیتر در ثانیه است و نتیجه (هـ - ۲) که برابر 0.3 لیتر در ثانیه است، درمی‌یابیم که زهکش واقع شده بین نقطه A_u و نقطه A_D می‌تواند آب زهکشی را به سهولت به نقطه B_D منتقل نماید. این بدان معنی است که زهکش جمع‌کننده بین نقاط A_D و B_D از نظر ابعاد مانند زهکش جانبی A می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که:

- قطر زهکش جمع‌کننده بین نقاط A_D و B_D برابر 50 میلیمتر است.

- شیب طولی زهکش جمع‌کننده بین نقاط A_D و B_D برابر $\frac{1}{350}$ است.

برای مقطع B_D و نقطه خروجی که در مجاورت C_D می‌باشد فرض می‌کنیم که شیب طولی زهکش جمع‌کننده $\frac{1}{350}$ باشد زیرا تا آنجا که مقدور است از پیچ اجتناب می‌شود.

چون دبی زهکش زیرزمینی که بایستی از نقطه خروجی تخلیه گردد برابر

$$2.3 \times \frac{0.3 \text{ (ha)}}{1.0 \text{ (ha)}} = 0.69 \text{ (lit / sec/0.3 ha)}$$

است.

با توجه به فرمول (۳-۱۸)، دبی متناسب با توان $\frac{3}{8}$ می‌باشد.

با قرار دادن Q_5 (دبی زهکش زیرزمینی جانبی با قطر ۵۰ میلیمتر d_{3t} قطر زهکش زیرزمینی با دبی $Q_5 \times 3$ خواهیم داشت:

$$d_{3t} = d_{50} \times (3)^{\frac{3}{8}} = 1/51 \times d_{50} = 75 \text{ (mm)}$$

(و-۱) در حالتی که عمق آب در زهکش جمع‌کننده $0.7 \times d_{3t}$

فرمول (۳-۲۰) را به کار می‌بریم:

$$V = \frac{1}{n} \times r^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{3}} \times \beta \quad (3-20)$$

که،

$$n = 0.016$$

$$r = \frac{1}{2} \times \frac{7.5}{100}$$

$$I = \frac{1}{350}$$

$$\beta = 0.7054$$

$$V = \frac{1}{0.016} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{7.5}{100}\right)^{\frac{2}{3}} \times \left(\frac{1}{350}\right)^{\frac{1}{3}} \times 0.7054 = 0.264 \text{ (m/sec)} > 0.2 \text{ (m/sec)}$$

فرمول (۳-۱۹) را برای محاسبه Q به کار می‌بریم:

$$Q = \frac{\gamma}{n} \times r^{\frac{\gamma}{\gamma}} \times I^{\frac{\gamma}{\gamma}} \times \alpha \quad (۳-۱۹)$$

که،

$$n = 0.016$$

$$r = \frac{1}{2} \times d_{3t} = \left(\frac{1}{2} \times \frac{7.5}{100} \right) (m)$$

$$I = \frac{1}{350}$$

$$\alpha = 1.6570$$

$$Q = \frac{1}{0.016} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{7.5}{100} \right)^{\frac{8}{3}} \times \left(\frac{1}{350} \right)^{\frac{1}{2}} \times 1.6570 = 0.0009 (m^3 / sec)$$

$$= 0.872 (lit / sec) > 0.69 (lit / sec)$$

(۲-و) در حالتی که عمق آب در زهکش جمع‌کننده $0.8 \times d_{3t}$

فرمول (۳-۲۰) را به کار می‌بریم:

$$V = \frac{\gamma}{n} \times r^{\frac{\gamma}{\gamma}} \times I^{\frac{\gamma}{\gamma}} \times \beta \quad (۳-۲۰)$$

که،

$$n = 0.016$$

$$r = \frac{1}{2} \cdot d_{3t} = \frac{1}{2} \times \frac{7.5}{100}$$

$$I = \frac{1}{350}$$

$$\beta = 0.7180$$

$$V = \frac{1}{0.016} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{7.5}{100}\right)^{\frac{2}{3}} \times \left(\frac{1}{350}\right)^{\frac{1}{2}} \times 0.7180 = 0.264 \text{ (m/sec)} > 0.2 \text{ (m/sec)}$$

فرمول (۳-۱۹) را برای محاسبه Q به کار می‌بریم:

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{\frac{8}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times \alpha \quad (3-19)$$

که،

$$n = 0.016$$

$$r = \frac{1}{2} \times d_{3t} = \left(\frac{1}{2} \times \frac{7.5}{100}\right) \text{ (m)}$$

$$I = \frac{1}{350}$$

$$\beta = 1.9345$$

$$Q = \frac{1}{0.016} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{7.5}{100}\right)^{\frac{8}{3}} \times \left(\frac{1}{350}\right)^{\frac{1}{2}} \times 1.9345 = 0.0010 \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

$$=1.02 \text{ (lit / sec)} > 0.69 \text{ (lit / sec)}$$

چون قطر زهکش جمع کننده محاسبه شده زیاد است، لذا لوله‌ای با قطر کوچکتر را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

با بررسی جدول داده شده در مثال محاسباتی ۱۳، می‌توان لوله‌ای با قطر ۶۵ میلیمتر را که نزدیک به ۷۵ میلیمتر است بدست آورد.

$$(3-9) \text{ در حالتی که عمق آب در زهکش جمع کننده } = 0.7 \times 65 \text{ (mm)}$$

فرمول (۳-۲۰) را به کار می‌بریم:

$$V = \frac{1}{n} \times r^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{3}} \times \beta \quad (3-20)$$

که،

$$n = 0.016$$

$$r = \frac{1}{2} \times \frac{6.5}{100}$$

$$I = \frac{1}{350}$$

$$\beta = 0.7054$$

$$V = \frac{1}{0.016} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{6.5}{100}\right)^{\frac{2}{3}} \times \left(\frac{1}{350}\right)^{\frac{1}{3}} \times 0.7054 = 0.24 \text{ (m/sec)} > 0.2 \text{ (m/sec)}$$

فرمول (۳-۱۹) را برای محاسبه Q به کار می‌بریم:

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{\frac{1}{3}} \times I^{\frac{1}{3}} \times \alpha \quad (3-19)$$

که،

$$n = 0.016$$

$$r = \frac{1}{2} \times d_{3t} = \left(\frac{1}{2} \times \frac{6.5}{100} \right) \text{ (m)}$$

$$I = \frac{1}{350}$$

$$\beta = 1.6570$$

$$Q = \frac{1}{0.016} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{6.5}{100} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{1}{350} \right)^{\frac{1}{3}} \times 1.6570 = 0.0006 \text{ (m}^3/\text{sec)}$$

$$= 0.60 \text{ (lit / sec)} > 0.69 \text{ (lit / sec)}$$

نتیجه رضایت‌بخش نیست.

(و-۴) در حالتی که عمق آب در زهکش جمع‌کننده = $0.8 \times 65 \text{ (mm)}$

فرمول (۳-۲۰) را به کار می‌بریم:

$$V = \frac{1}{n} \times r^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{3}} \times \beta \quad (3-20)$$

که،

$$n = 0.16$$

$$r = \frac{1}{2} \times \frac{6.5}{100} \text{ (m)}$$

$$I = \frac{1}{350}$$

$$\beta = 0.718$$

$$V = \frac{1}{0.016} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{6.5}{100} \right)^{\frac{2}{3}} \times \left(\frac{1}{350} \right)^{\frac{1}{2}} \times 0.7180 = 0.24 \text{ (m/sec)} > 0.2 \text{ (m/sec)}$$

$$Q = \frac{1}{n} \times (r)^{\frac{8}{3}} \times (I)^{\frac{1}{2}} \times a \quad (۳-۱۹)$$

$$n = 0.016$$

$$r = \frac{1}{2} \times \frac{6.5}{100} \text{ (m)}$$

$$I = \frac{1}{350}$$

$$\alpha = 1.9345$$

$$Q = \frac{1}{0.016} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{6.5}{100} \right)^{\frac{8}{3}} \times \left(\frac{1}{350} \right)^{\frac{1}{2}} \times 1.9345 = 0.0007 \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

$$= 0.70 \text{ (lit/sec)} > 0.69 \text{ (lit/sec)}$$

نتیجه رضایت بخش است.

انتخاب یک لوله با قطر ۶۵ میلیمتر به معیارهای طراحی تحمیل شده توسط پروژه بستگی دارد. اگر مهندسین، ایمنی سیستم زهکش زیرزمینی را در سطح مزرعه در نظر بگیرند، آن‌ها لوله‌ای با قطر ۷۵ میلیمتر را خواهند پذیرفت.

(ز) محاسبه عمق کارگذاری

محاسبه از زهکش زیرزمینی A شروع می‌شود. زیرا نمی‌توان عمق نصب زهکش زیرزمینی B و C را بدون مقدار ارتفاع مربوط به نقاط B_D و C_D محاسبه کرد.

(ز-۱) نقطه A_u

نقطه شروع بالادست (A_u) زهکش زیرزمینی در فاصله $S \times \frac{1}{4} = 5$ متری از مرز کرت که ۵ متر از کانال آبیاری فاصله دارد واقع شده است.

(ز-۲) نقطه A_D

نقطه A_D در فاصله ۵ متری از کانال زهکشی واقع شده است، طول بین نقطه A_u و A_D، $90 - 5 - 5 = 80$ متر برآورد شده است. بنابراین عمق نصب در نقطه A_D برابر است با:

$$-0.6 (m) - 90 (m) \times \frac{1}{350} = -0.857 (m)$$

(ز-۳) نقطه B_D

$$-0.857 (m) - S (m) \times \frac{1}{350} = -0.857 - 10 \times \frac{1}{350} = -0.886 (m)$$

(ز-۴) نقطه C_D

$$-0.886 (m) - S \times \frac{1}{350} = -0.886 - 10 \times \frac{1}{350} = -0.915 (m)$$

(ز-۵) خروجی

$$-0.915 (m) - 5 \times \frac{1}{350} = -0.929 (m)$$

در واقع فاصله بین نقطه C_D و خروجی بیش از ۵ متر است. زیرا شیب دیواره کانال زهکشی بایستی در نظر گرفته شود.

(ز-۶) نقطه B_u

$$-0.886 (m) + 90 \times \frac{1}{350} = -0.629 (m)$$

(ز-۷) نقطه B_u

$$-0.915 (m) + 90 \times \frac{1}{350} = -0.632 (m)$$

عمق نصب زهکشهای زیرزمینی که در استانداردهای ژاپنی پیشنهاد شده بین $0/6 - 0/8$ متر زیر سطح زمین در نقطه شروع و $0/8 - 1/0$ متر زیر سطح زمین در پائین ترین نقطه کرت می باشد (کرت به طول ۱۰۰ متر و به عرض ۳۰ متر می باشد).
با مقایسه نتایج محاسبه شده با مقادیر پیشنهادی، درمی یابیم که طراحی خوب بوده است.

(ح) مقایسه فرمول مانینگ با فرمول گیسلر، بازن و کاتر

نتایج بدست آمده را با مقادیر حاصل از فرمول گیسلر، بازن و کاتر مقایسه می کنیم.
فرمول ها به شرح زیر بدست می آیند:

فرمول گیسلر:

$$V = ۲ \cdot \sqrt{d \cdot \frac{h}{l}} \quad (۳-۱)$$

فرمول بازن:

$$V = K \sqrt{d \cdot \frac{h}{l}} \quad (۳-۲)$$

$$K = \frac{43.5}{1 + \frac{2\gamma}{\sqrt{d}}} \quad (۳-۳)$$

$$\gamma = 0.235$$

فرمول کوتر:

$$V = K \sqrt{d \cdot \frac{h}{l}} \quad (۳-۲)$$

$$K = \frac{۵ \cdot \sqrt{d}}{۲m + \sqrt{d}} \quad (۳-۴)$$

$$m = 0.3$$

(ح-۱) فرمول گیسلر

$$V = ۲.۰ \sqrt{d \cdot \frac{h}{l}}$$

$$d = \frac{۵}{۱۰۰} (m)$$

$$\frac{h}{l} = \frac{1}{100}$$

$$V = 20 \sqrt{\frac{5}{100} \cdot \frac{1}{350}} = 0.24 (m/sec) \succ 0.2 (m/sec)$$

$$Q = V \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \pi = 0.24 \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{5}{100}\right)^2 \times 3.14$$

$$= 0.0005 (m^3/sec) = 0.47 (lit/sec) \succ 0.23 (lit/sec)$$

(ح-۲) فرمول بازن

$$K = \frac{43.5}{1 + \frac{2\gamma}{\sqrt{d}}} = \frac{43.5}{1 + \frac{2 \times 0.235}{\sqrt{\frac{5}{100}}}} = 14.0$$

$$V = 14.0 \sqrt{\frac{5}{100} \cdot \frac{1}{350}} = 0.17 \text{ (m/sec)} < 0.2 \text{ (m/sec)}$$

$$Q = V \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \pi = 0.17 \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{5}{100}\right)^2 \times 3.14 = 0.0003 \text{ (m}^3/\text{sec)}$$

$$= 0.33 \text{ (lit/sec)} > 0.23 \text{ (lit/sec)}$$

سرعت قابل قبول نیست در حالی که دبی قابل قبول می باشد.

(ح-۳) فرمول کوتر

$$K = \frac{50\sqrt{d}}{2m + \sqrt{d}} = \frac{50\sqrt{\frac{5}{100}}}{2 \times 0.3 + \sqrt{\frac{5}{100}}} = \frac{11.8}{0.8236} = 13.6$$

$$V = 13.6 \sqrt{\frac{5}{100} \times \frac{1}{350}} = 0.16 \text{ (m/sec)} < 0.2 \text{ (m/sec)}$$

$$Q = V \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \pi = 0.16 \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{5}{100}\right)^2 \times 3.14$$

$$= 0.0003 \text{ (m}^3/\text{sec)} = 0.31 \text{ (lit/sec)} > 0.23 \text{ (lit/sec)}$$

سرعت قابل قبول نبوده ولی دبی قابل قبول می باشد.

نتیجه نشان می‌دهد که اگر قطر لوله کوچک باشد در سرعت محاسبه شده به وسیله فرمولهای متفاوت اختلاف زیادی وجود دارد. زمانی که قطر لوله را با در نظر گرفتن $20 = K$ با فرمول بازن و کاتر محاسبه می‌کنیم. از فرمول بازن خواهیم داشت:

$$20 = \frac{43.5}{1 + \frac{2 \times 0.235}{\sqrt{d}}}$$

$$\left(1 + \frac{2 \times 0.235}{\sqrt{d}}\right) = \frac{43.5}{20}$$

$$\frac{2 \times 0.235}{\sqrt{d}} = \frac{43.5}{20} - 1 = 1.75$$

$$\sqrt{d} = \frac{2 \times 0.235}{1.175} = 0.400$$

$$d = 0.160 \text{ (m)} = 160 \text{ (mm)}$$

از فرمول کوتر خواهیم داشت:

$$20.0 = K = \frac{50\sqrt{d}}{2 \times 0.3 + \sqrt{d}}$$

$$20 (2 \times 0.3 + \sqrt{d}) = 50\sqrt{d}$$

$$2 \times 0.3 = 1.5\sqrt{d}$$

$$\sqrt{d} = \frac{2 \times 0.3}{1.5} = 0.40$$

$$d = 0.160 \text{ (m)} = 160 \text{ (mm)}$$

برای لوله‌ای با قطر ۵۰ میلیمتر که در این مثال محاسباتی بدست آمده، احساس می‌شود که به کار بردن فرمول گیسلر، بازن و کاتر مشکل می‌باشد.

منابع

- امیری لاریجانی، ب. و کریمی، و. ۱۳۹۳. تحلیلی بر بیلان آبی و رد پای آب در اراضی شالیزاری شمال کشور، شانزدهمین همایش ملی برنج کشور. ساری، ایران.
- پلنگی، م. پیرمردیان، ن. کریمی، و. و امیری لاریجانی، ب. ۱۳۹۳. تأثیر زهکشی سطحی میان فصل بر روند رشد شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد دانه برنج رقم طارم هاشمی، مجله تحقیقات غلات، سال چهارم، شماره چهارم. صفحه ۲۶۷-۲۷۸.
- دهقانی، ن. پیرمردیان، ن. کریمی، و. و نوابیان، م. ۱۳۹۴. تأثیر زهکشی سطحی میان فصل بر مشخصات ترکهای ایجاد شده در خاک سطحی مزارع شالیزاری، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک گرگان، جلد ۲۲، شماره ۶. صفحه ۲۵۹-۲۷۰.
- کریمی، و. و کیا، ع. ۱۳۸۳. عوامل مؤثر در طراحی کانالهای زهکشی اراضی شالیزاری، اولین کارگاه آموزشی مبانی طراحی در تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری، رشت، ایران.
- کریمی، و. یوسفیان، ح. و سلمانی، م. ق. ۱۳۸۶. ارزیابی سیستم زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری، دومین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت تاسیسات آبی و شبکه‌های آبیاری وزهکشی، کرج، ایران.
- کریمی، و. یوسفیان، ح. و سلمانی، م. ق. ۱۳۸۹. زهکشی زیرزمینی ضرورتی برای شالیزارهای دشت هراز. اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، ساری، ایران.

Kato, K. 2003. Drainage Volume. 1. JICA Project in IRAN, Haraz Agricultural Human Resources Development Center, 250 P.

Kato, K. 2003. Drainage Volume. 2. JICA Project in IRAN, Haraz Agricultural Human Resources Development Center, 214 P.