خاک غبر اشباع

احد باقرزاده خلخالی

(عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران)

محمدرضا کوهستانی

(کارشناس ارشد ژئوتکنیک)

علی براتی

(کارشناس ارشد ژئوتکنیک)

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به

پدر و مادر عزیزم

فهرست مطالب

فصل اول: ویژگی های فیزیکی و جریان در خاک های غیر اشباع ۵
فصل دوم : روش ها و برنامه های کاربردی اندازه گیری و کنترل مکش ۳۱
فصل سوم : قوانین جریان، نشت وابسته به مشخصات خاک- آب ۹۱
فصل چهارم : فروپاشی و تورم خاک به وسیله خیس کردن خاک ۲۰۱

فصل اول

ویژگی های فیزیکی و جریان در خاک های غیر اشباع

خلاصه فصل

بخش اول : فیزیک پایه، فازها و متغیرهای حالت تنش:

خاک های غیر اشباع که اکثریت خاک های سطحی یا نزدیک به سطح را تشکیل می دهند، باعث ایجاد هوای منفذی و همچنین آب منفذی می شوند و از این رو یک رابط آب و هوا هستند که یک پوست انقباضی را تشکیل می دهند. اهمیت وضعیت متغیرهای تنش در تعریف رفتار مهندسی با پارامترهای مقاومت، تغییر شکل پذیری و جریان گذرا بحث شده است. انتخاب متغیرهای حالت تنش (تنش نرمال خالص و مکش ماتریک) و فیزیک مرتبط با کشش سطحی و کاویتاسیون (و نحوه اجتناب از آن) از یکدیگر مستقل می باشد. خاک اشباع، یک مورد خاص ساده شده خاک غیراشباع می باشد و تفاوت های اساسی از نظر روش های طبقه بندی و تجزیه و تحلیل وجود دارد . این تمایز مهم پیامدهای عمده ای برای تمرین مهندسین عمران-ژئوتکنیک دارد.

بخش دوم: روش ها و برنامه های کاربردی اندازه گیری و کنترل مکش

اندازه گیری و اهمیت مکش خاک برجسته شده است. اصول و محدودیت‌های روش‌های اندازه‌گیری از جمله تکنیک‌های اکسترانسیون، اسمزی و کنترل رطوبت توضیح داده شده‌اند. یک سیستم جدید و ساده برای اندازه گیری دقیق تغییر حجم برای خاک غیراشباع معرفی و توضیح داده شده است. نمونه هایی از استفاده از تکنیک های مختلف کنترل، ارائه شده است. استحکام برشی اندازه‌گیری شده با روش‌های ترجمه محوری و اسمزی مقایسه می‌شود. انواع اندازه گیری ساکشن آزمایشگاهی و دستگاه های درجا در نظر گرفته شده است. با مطالعه موردی و مقایسه اندازه‌گیری‌های مکش درجا، استفاده از سنسورهای مختلف شرح داده شده است. سنسورهای مدرنی که می توانند مکش غیراشباع خاک را اندازه گیری کنند.

بخش سوم: قوانین جریان، نشت که وابسته به حالت ویژگی های خاک – آب می باشند

قوانین جریان برای نشت هوا و آب در خاک اشباع وخاک غیر اشباع بررسی می شود. پارامترها و خواص هیدرولیک، شامل منحنی مشخصه خاک-آب معرفی و توضیح داده شد(SWCC) و همچنین توابع نفوذپذیری برای انجام نشت گذرا در خاک غیر اشباع تجزیه و تحلیل می شوند. یک مفهوم جدید و پیشرفته از منحنی مشخصه خاک-آب (SDSWCC) معرفی شده است. که ظرفیت یک خ غیراشباع

برای ذخیره و رهاسازی آب در شرایط مختلف حالات تنش را با فنون تجربی و ابزارهای نظری تعریف و اندازه گیری می نماید.

تاثیر انواع خواص هیدرولیک و شرایط بارندگی بر مکانیسم نفوذ بارندگی در هر دو سیستم خاک غیر اشباع تک لایه و دو لایه توسط یک مطالعه پارامتری تحلیلی نشان داده شده است. این نشان می دهد که فرآیند نفوذ و پاسخ فشار آب منفذی در درجه اول توسط نرخ نفوذ بارندگی، ضریب اشباع زدایی و نفوذپذیری آب اشباع کنترل می شود. همچنین تأثیر نرخ نفوذ پیشین آشکار می شود.

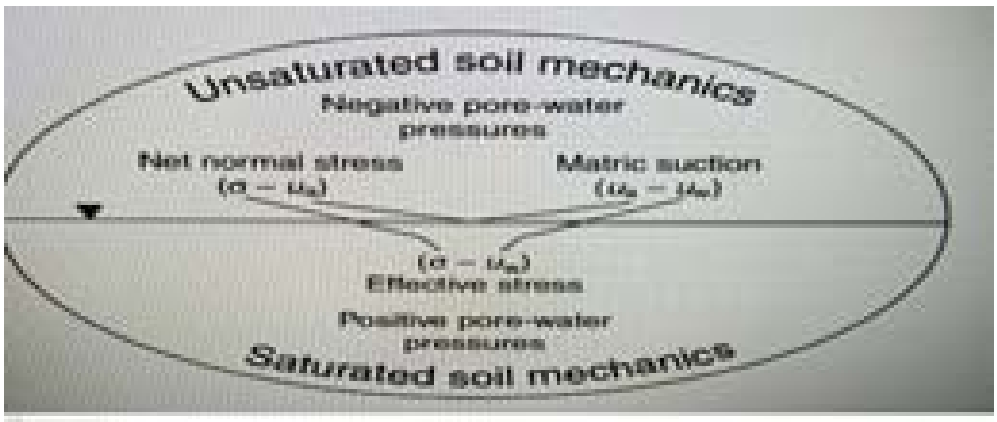
تصاویری که محتوای این قسمت ۱ را نشان می دهد: (a) زمین لغزش بزرگ درسال ۲۰۰۳ در امتدادمسیر سد سه دره; (b) اجزای حجمی یک بعدی اصلاح شده استخراج کننده صفحه فشار (Ng and Pang, 2000b); (c) مونتاژ اصلاح شده یک بعدی استخراج کننده صفحه فشار حجمی Pang، (2000b

فیزیک پایه، فازها و متغیرهای حالت تنش

مقدمه (از فردلوند، ۱۹۹۶):

همانطور که توسط فردلوند و راهاردجو (۱۹۹۳)، به مکانیک کلاسیک خاک اشاره شده و مهندسین ژئوتکنیک اغلب به صورت ضمنی آموزش داده اند؛ فرض بر این است که خاک یا خشک (۰ درصد اشباع) یا اشباع (۱۰۰درصد اشباع) می باشند. استدلال می شود که رفتار خاک صرفاً توسط اصل تنش مؤثر ترزاقی کنترل می شود. به عبارت دیگر، شرایط خشک و اشباع تنها دو مورد خاص از غیر اشباع هستند

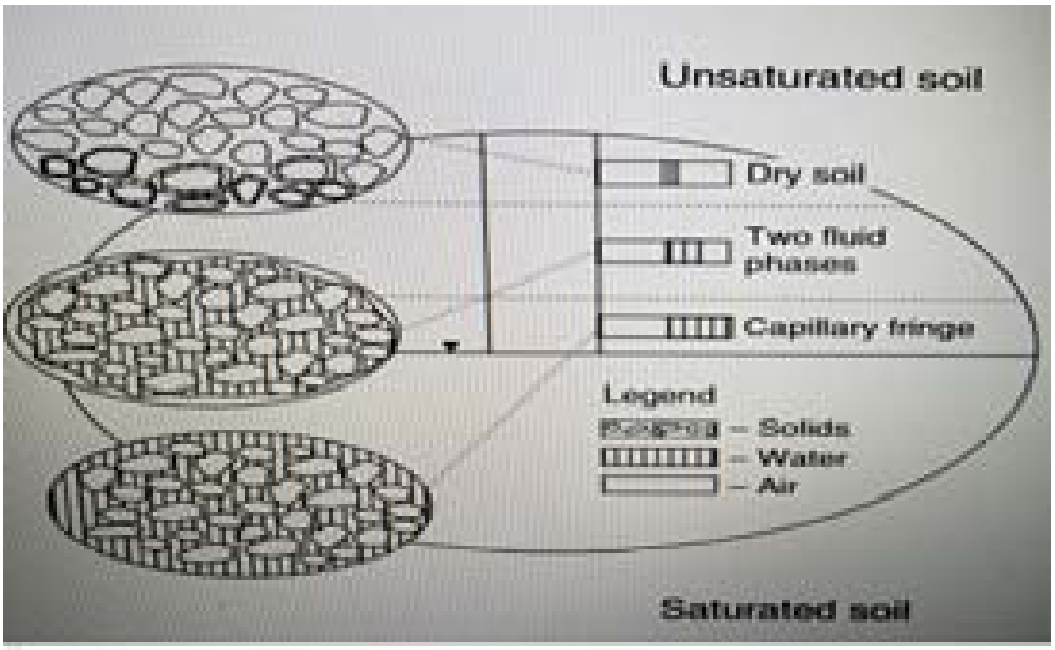
(خاک غیراشباع) یعنی خاکی که درجه اشباع آن بین ۰ است. در بسیاری از مسائل مهندسی، با این حال، یک خاک اغلب، نه اشباع و نه خشک است که بر روی آن ها تحقیقات نسبتاً محدودی انجام شده است. در مورد خاک های غیر اشباع تنها دو کتاب درسی در این زمینه منتشر شده است. واضح است که نیاز فوری به بهبود درک رفتار و مکانیک یک خاک غیر اشباع، وجود دارد. برای راحتی، رشته کلی مکانیک کلاسیک خاک اغلب، به بخش مربوط به خاک های اشباع و قسمتی به خاک های غیر اشباع تقسیم می شود. اگر چه این تقسیم مصنوعی بین خاک های اشباع و غیر اشباع را می توان غیرضروری نشان داد، ممکن است همچنان برای استفاده از دانش به دست آمده از خاک های اشباع به عنوان کمک کننده دانست، سپس آن را به جهان گسترده تر خاک غیر اشباع همانطور که نشان داده شده است، گسترش دهید. در شکل ۱,۱، که کمک بصری برای دنیای تعمیم یافته مکانیک خاک فراهم می کند(فردلوند، ۱۹۹۶). برای سادگی دنیای مکانیک خاک ، رفتار حاکم بر خاک را بر اساس سطح آب زیر زمینی و تنش موثر تقسیم بندی می نمایند. در حالی که خاک غیراشباع بالای آب، توسط دومتغیر تنش مستقل، تنش نرمال خالص وماتریس ساکشن U_a-U_w اداره می شود (جنینگز و بورلند، ۱۹۶۲؛ فردلوند و مورگنسترن، ۱۹۷۷).



شکل ۱,۱ کمک تجسمی برای دنیای عمومی مکانیک خاک(فردلوند، ۱۹۹۶)

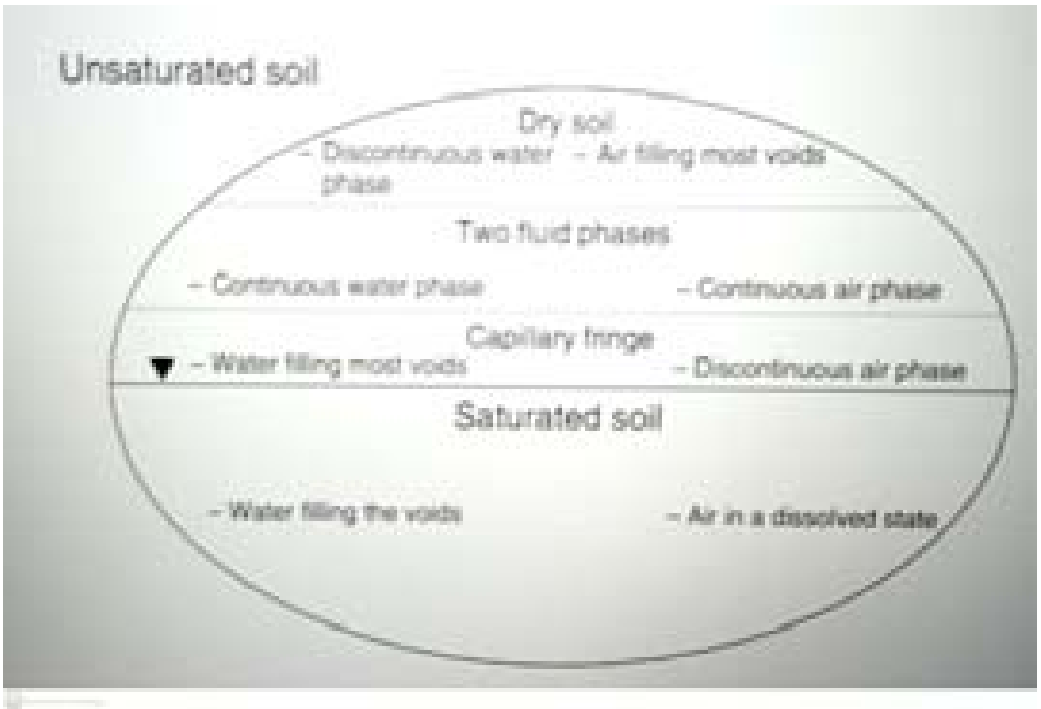
در شکل ۱,۲ به جای یک ماده دو فاز (یعنی جامد و آب) هنگامی که یک خاک اشباع است، توسط فردلوند و مورگنسترن (۱۹۷۷) تشخیص داده می شود که یک خاک غیر اشباع دارای چهار فاز یا مرحله است:

جامد، آب، هوا و رابط آب – هوا به نام پوست انقباضی (Paddy, 1969).



شکل ۱,۲ طبقه بندی خاک بالای سطح آب بر اساس تنوع در درجه اشباع (فردلوند، ۱۹۹۶).

با توجه به شکل ۱,۱ منطقه وادوز به یک جهان ژئوتکنیکی تقسیم شده، که توسط یک خط افقی که نشان دهنده سطح آب زیرزمینی است. در زیر سطح ایستایی، فشار آب منفذی مثبت خواهد بود و به طور کلی، اشباع خواهد شد. در بالای سطح آب، فشار آب منفذی، با توجه به فشار اتمسفر (یعنی فشار گیج) منفی خواهد بود. کل منطقه خاک بالای سطح آب است، به نام ناحیه وادوز (شکل ۱,۳ را ببینید). بلافاصله بالای سطح آب، منطقه ای به نام حاشیه مویینگی وجود دارد که در آن درجه اشباع نزدیک به ۱۰۰ درصد می باشد. این منطقه ممکن است، بسته به نوع خاک، ضخامت آن می تواند تقریباً از ۱ متر تا ۱۰ مترمتغیر باشد (فردلوند،۱۹۹۶). در داخل این ناحیه مویینگی، فاز آب ممکن است پیوسته فرض شود در حالی که فاز هوا به طور کلی ناپیوسته است. بالای این منطقه، یک منطقه دو فازی ممکن است شناسایی شود که در آن هر دو فاز آب وهوا ممکن است به صورت پیوسته ایده آل شوند. در داخل این منطقه، درجه اشباع ممکن است از حدود ۲۰ تا ۹۰ درصد بسته به نوع و وضعیت خاک، متفاوت باشد. در بالای این زون دو فازی؛ خاک خشک می شود و فاز آب ناپیوسته خواهد بود در حالی که فاز هوا باقی خواهد ماند.



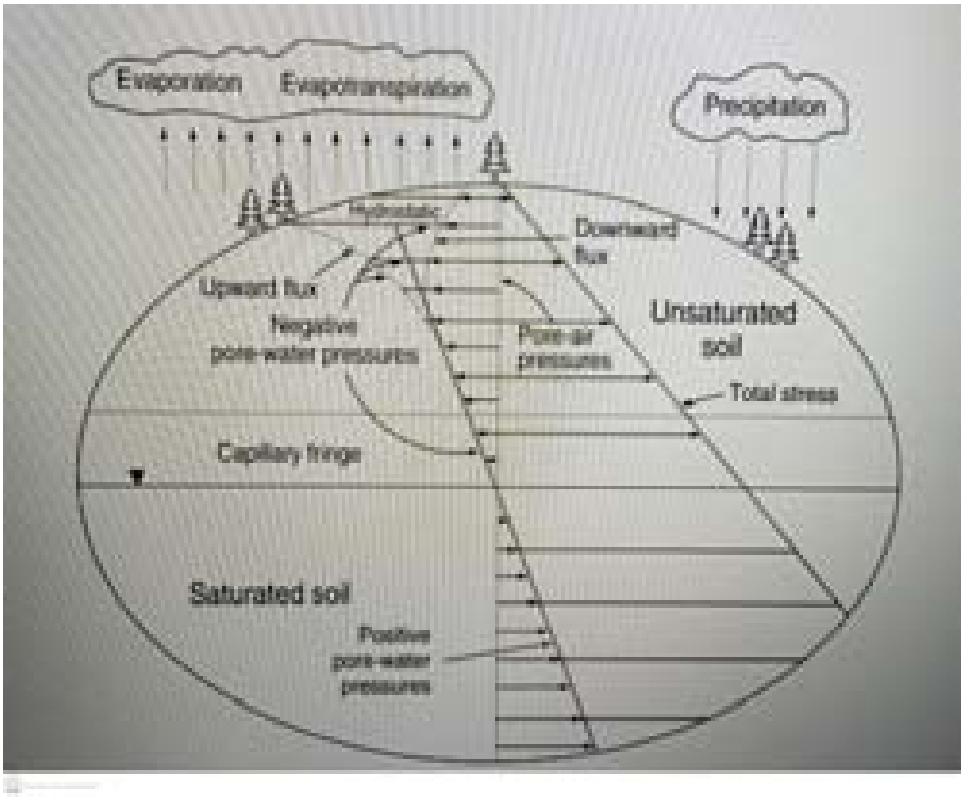
شکل ۱,۳ تجسم مکانیک خاک اشباع/غیراشباع بر اساس طبیعت فازهای سیال (فردلوند، ۱۹۹۶).

موقعیت تراز آب زیرزمینی به شدت تحت تأثیر شرایط اقلیمی است. شرایط در یک منطقه؛ اگر منطقه خشک یا نیمه خشک است، سطح آب های زیرزمینی به آرامی با گذشت زمان کاهش می یابد (یعنی ممکن است مقیاس زمانی زمین شناسی باشد). اگر آب و هوا معتدل یا مرطوب است، سطح آب زیرزمینی ممکن است کاملاً نزدیک به سطح زمین، باقی بماند. این تفاوت بین شار رو به پایین(یعنی بارش) و شار رو به بالا (یعنی تبخیر و تبخیر و تعرق) وجود دارد که مکان تراز آب زیرزمینی را تعیین می کند (رجوع کنید به شکل ۱,۴). صرف نظر از درجه اشباع خاک، هنگامی که فشار آب منفذی وجود داشته باشد، پروفیل شار خالص صفر از سطح زمین، در شرایط هیدرواستاتیکی به تعادل می رسد. اگر(به عنوان مثال با تبخیر) رطوبت از سطح زمین استخراج شود، مشخصات فشار آب منفذی به سمت چپ کشیده می شود.

اگر رطوبت توسط فرآیند نفوذ، به سطح آب زیرزمینی وارد شود، پروفایل آب منفذی به سمت راست کشیده می شود. یک شار خالص به سمت بالا باعث خشک شدن تدریجی، ترک خوردن و خشک شدن یک توده خاک می شود، در حالی که یک شار خالص رو به پایین در نهایت یک توده خاک را اشباع می کند.

عمق سطح ایستایی، تحت تأثیر شار سطحی شبکه می باشد. یک خط هیدرواستاتیک نسبت به سطح آب زیرزمینی نشان می دهد که یک شرایط تعادلی که در آن هیچ شاری در سطح زمین وجود ندارد.

در دوره های خشک، فشار آب منفذی منفی تر از آن می شود که با خط هیدرواستاتیک نشان داده شده است. در طول دوره های مرطوب علف ها، درختان و سایر گیاهانی که روی سطح زمین رشد می کنند، خاک را با اعمال کشش به آب منافذ از طریق تبخیر و تعرق، خشک می کنند (دورسی، ۱۹۴۰). اکثر گیاهان قادر به اعمال ۱ تا ۲ مگا پاسکال یا ۱۰ تا ۲۰ اتمسفر کشش به آب منفذی قبل از رسیدن به نقطه پژمردگی آنها، هستند (تیلور واشکرافت، ۱۹۷۲). کشش اعمال شده به آب منفذی در همه جهات عمل می کند و به راحتی می تواند از فشار محدود جانبی در خاک تجاوز کند. زمانی این اتفاق می افتد، یک حالت ثانویه از اشباع زدایی (یعنی ترک خوردن) شروع می شود (یعنی ترک خوردن). تبخیر و تعرق نیز منجر به تثبیت و اشباع نشدن توده خاک می شود. با گذشت سالها، یک رسوب خاک تحت شرایط محیطی متغیری قرار می گیرد. اینها باعث ایجاد تغییراتی در توزیع فشار آب منفذی می شوند، که به نوبه خود منجر به کوچک شدن و تورم رسوب خاک می شود. توزیع فشار آب منفذی با عمق همانطور که در شکل ۱,۴ نشان داده شده است، می تواند در نتیجه تغییرات محیطی، شکل های متنوعی به خود گیرند.



شکل ۱,۴ تصویری از مکانیک خاک که نقش شرایط مرز شار سطحی را نشان می دهد.(فردلوند، ۱۹۹۶).

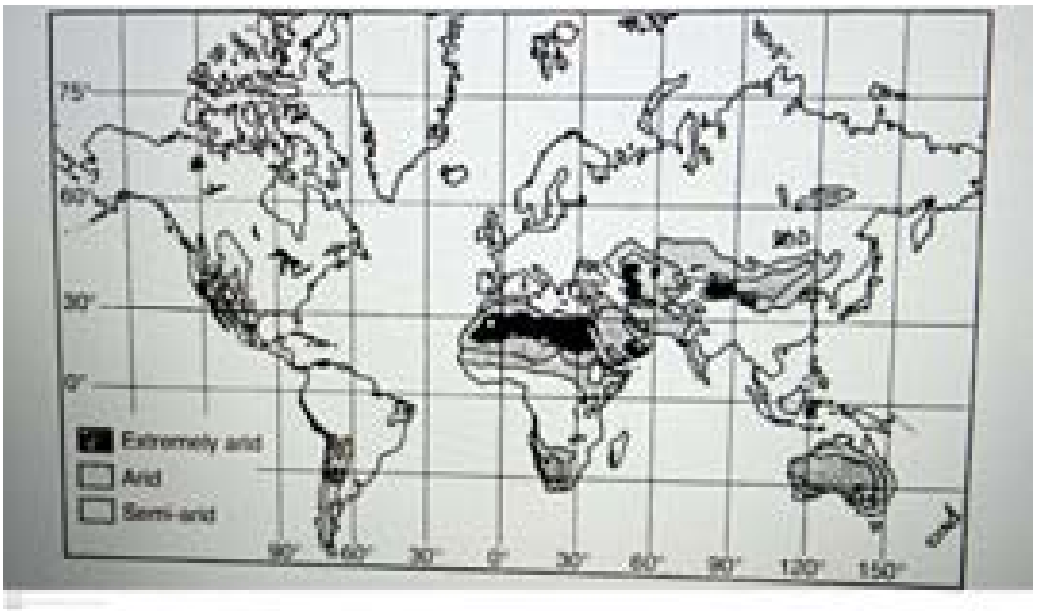
پیچیدگی های زیادی در ارتباط با ناحیه وادوز وجود دارد؛ زیرا ماهیت شکاف دار و شکسته آن به طور سنتی، گرایش در مهندسی ژئوتکنیک دارد که یا از تجزیه و تحلیل این منطقه اجتناب کند یا آن را به شدت ساده کند. با این حال، در بسیاری از موارد درک منطقه است که کلید عملکرد یک سازه مهندسی شده را در اختیار دارد. مشکلات تاریخی، نشت کلاسیک؛ شامل یک خاک اشباع است که در آن مرز شرایط شامل یک هد مشخص یا شار صفر است. مشکلات ژئومحیطی ، مهندس را مجبور می کند تا خاک را اشباع/غیراشباع در نظر بگیرد ، تجزیه و تحلیل نشت گذرا با شرایط مرزی شار بهبود یافته است و با انطباق دادن با این تغییرات، کمک به قابلیت محاسباتی که در اختیار مهندس قرار گرفته شده است، می نماید (فردلوند، ۱۹۹۶). بیشتر سازه های دست ساز در سطح زمین قرار دارند و به این ترتیب یک شرط مرزی شار محیطی خواهند داشت.

برای بزرگراهی که خاک خاکریز و زیرسازی دارای یک مجموعه شرایط اولیه یا حالت های تنش می باشد که این شرایط تحت تغییر خواهد بود. در درجه اول زمان، به دلیل شرایط محیطی و آب و هوایی (یا سطح رطوبت شار) تغییر می کند. پایه های سازه های سبک نیز به طور کلی، به خوبی بالای سطح آب زیرزمینی که فشار آب منفذی منفی است، قرار می گیرد. در واقع، بیشتر سازه های مهندسی دنیا، سبک هستند که در داخل ناحیه وادوزی قرار می گیرد که به شدت تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی قرار دارند. یکی از ویژگی های قسمت بالای سطح وادوز آن است که انتشار بخار آب به اتمسفر با سرعتی آهسته رخ می دهد و بستگی به نفوذ پذیری بخش های دست نخورده خاک دارد. در همان زمان، جریان رو به پایین آب می‌تواند از طریق شکاف‌ها تحت یک گرادیان واحد رخ دهد. به نظر می رسد هیچ مقاومت ظاهری برای جریان آب تا خاک وجود ندارد که متورم شود و توده دست نخورده شود، تا زمانی که شکاف ها با آب پر شوند. یک تصور غلط رایج این است که آب همیشه می تواند در خاک وارد شود. با این حال، اگر خاک دست نخورده باشد، حداکثر شار آب در سطح زمین برابر است با، ضریب نفوذپذیری خاک اشباع. این مقدار ممکن است بسیار کم باشد؛ اگر سطح زمین شیب دار باشد و لایه های بالایی خاک شکاف خورده یا ترک خورده باشد، لایه سطحی می تواند راحت تر اشباع شود و ضریب نفوذپذیری بالاتری خواهد داشت. در نتیجه آب در شیب موجود از لایه های بالایی خاک می ریزد و ممکن است وارد خاک دست نخورده زیرین نشود

برخی از خاک های غیر اشباع رایج

بخش بزرگی از جمعیت جهان در مناطق خشک زندگی می کنند که در آن سطح آب زیرزمینی به دلیل تبخیر سالانه، عمیق است. به نظر می رسد یک همبستگی قوی بین مناطق خشک و تراکم جمعیت مناطق خشک وجود دارد (شکل۱,۵).

پنجره ۱۰-۴۰ جهان تعریف شده است. با +۱۰ و +۴۰ عرض شمالی و ۱۰ و ۴۰ طول جغرافیایی. این پنجره حدود ۳,۱ میلیارد نفر یا ۶۰ درصد جمعیت را شامل می شود.



شکل ۱،۵ نقشه مناطق بسیار خشک، خشک و نیمه خشک جهان را نشان می دهد(درگنه۱۹۷۶؛فردولند)

در میان بسیاری از انواع خاک های غیر اشباع، برخی از آنها برای مهندسان بدنام و مشکل ساز هستند. برخی از نمونه ها به شرح زیر ذکر شده است:

۱-خاک رس های پلاستیکی متوسط تا بالا حاوی مقدار قابل توجهی از مواد معدنی گسترده مانند مونت موریلونیت در معرض تغییر قرار گرفتند. محیط زیست دسته ای از مواد را تولید کرده اند که به عنوان تورم شناخته می شوند. خاک ها انقباض خاک ممکن است وضعیت به همان اندازه سخت باشد. رس های پلاستیکی گسترده معمولا در کلرادو، تگزاس و وایومینگ ایالات متحده آمریکا (چن، ۱۹۸۸)، در هوبی، گوانگشی و شاندونگ از چین (شی و همکاران، ۲۰۰۲؛ نگ و همکاران، ۲۰۰۳)، در آلبرتا و ساسکاچوان از کانادا (چن، ۱۹۸۸؛ فردلوند و راهاردجو، ۱۹۹۳)، در مادرید

۲-خاکهای ضعیف اغلب در معرض خیس شدن و احتمالاً در یک محیط بارگذاری قرار می گیرند. آنها معمولا در میسوری یافت می شوند، نبراسکا و ویسکانسین ایالات متحده آمریکا (دادلی، ۱۹۷۰؛ هندی، ۱۹۹۵)، در گانسو، نینگشیا و شانشی از چین (لیو، ۱۹۸۸)، و در کنت، ساسکس و همپشایر در بریتانیا (جفرسون و همکاران،۲۰۰۱)

۳-خاک‌های باقی‌مانده و ساپرولیتی واقع در بالای سطح آب‌های زیرزمینی، به ویژه در دامنه‌های تپه‌های بسیاری در برزیل، پرتغال و خاور دور مانند : هنگ کنگ و مالزی

جدول۱-۱ خلاصه برخی از خاکهای غیراشباع مشکل سازو ضعیف و برخی از خاک های ارزشمند

خاک ضعیف	خاک ارزشمند
China: gansu,ningxi,shangxi	China: hubei, guangxi, shandong
United states:Missouri,wisconsin	United states: Colorado,texas
United kingdom:kent,hampshire	Canada: Alberta,manitoba
Romania:galati,talcea	Spain: andalucia, madrid
	Sudan:gazara, kasalla

جدای از فرآیندهای طبیعی و زمین شناسی، فعالیت های دست سازبشر مانند حفاری، قالب‌گیری مجدد و تراکم مجدد نیز ممکن است منجر به اشباع‌زدایی خاک های اشباع و در نتیجه تشکیل خاک های غیر اشباع شود. در نظر گرفتن و درک ساخت مواد دشوار است، به ویژه در مورد تغییرات حجم، در چارچوب مکانیک کلاسیک خاک اشباع شده مناطق اقلیمی خشک تر به طور فزاینده ای از منحصر به فرد بودن مشکلات مکانیک خاک منطقه ای خود آگاه شده اند.

تعاریف ساکشن

مکش خاک معمولاً به عنوان حالت انرژی آزاد خاک-آب نامیده می شود (ادلفسن و اندرسون، ۱۹۴۳)، که می توان بر حسب فشار بخار ؛ اندازه گیری کرد. از نقطه نظر ترمودینامیکی، مکش کل می تواند به طور کمی توسط معادله کلوین (اسپوزیتو، ۱۹۸۱) به شرح زیر محاسبه شود:

$$\Psi = - RT/ v_{w0} w_v \ln (u_v /u_{v0}) \quad (1.1)$$

مکش کل بر حسب (کیلو پاسکال)؛ R ثابت گاز جهانی [J/(mol ·K)] است.

(T) دمای مطلق بر حسب (K) است. v_{w0} حجم خاص آب یا همان معکوس چگالی آب m3/kg

v جرم مولکولی بخار آب (گرم در مول) ؛ u_v فشار جزئی بخار آب منفذی (kPa) است.

u_{v0} فشار اشباع بخار آب روی یک سطح صاف از آب خالص در همان دما (کیلو پاسکال). اصطلاح uv/uv0 رطوبت نسبی نامیده می شود.

مکش کل دارای دو جزء است: مکش ماتریک $u_a - u_w$ ومکش اسمزیπ

$$\Psi = (u_a-u_w) + \pi \quad (1.2)$$

تغییر مکش کل عموماً به دلیل تغییر RH در خاک ایجاد می شود.

RH را می توان به دلیل وجود سطح آب منحنی تولید شده، توسط پدیده مویینگی؛ کاهش داد متناسب با اختلاف فشار هوا u_a و فشار آب U_w در سراسر سطح؛ ماتریس ساکشن نامیده می شود.

مکش اسمزی تابعی از مقدار نمک های محلول در داخل سیال منفذی می باشد و بر حسب فشار بیان می شود. به عبارت دیگر، کاهش رطوبت نسبی در منافذ، به دلیل وجود مواد محلول؛ نمک های موجود در آب منفذی، مکش اسمزی نامیده می شود.

متغیرهای حالت تنش

متغیرهای حالت تنش چیست؟ بر اساس فرهنگ لغت بین المللی فیزیک و الکترونیک (Michels, 1961)، متغیرهای حالت به این صورت تعریف می شوند:

مجموعه محدودی از متغیرهای دینامیکی سیستم: مانند فشار،دما، حجم و غیره که برای توصیف یا مشخص کردن وضعیت سیستم به طور کامل برای ملاحظات در دست است.که فانگ در سال (۱۹۶۵) وضعیت یک سیستم را به عنوان "اطلاعات مورد نیاز برای" توصیف می کند.

معمولا متغیرهای حالت تنش؛ تمام اثرات قابل اندازه گیری تغییر در تنَش مانند تراکم، اعوجاج و تغییر در مقاومت برشی هستند.

دو جنبه از بیانات ترزاقی مورد توجه خاص است (فردلند،۱۹۸۷). اولین ادعای مورد توجه این است که فشار آب منفذی در آب و در جامد در هر جهت؛ عمل می کند». این زمانی معنادار می شود که مفهوم میدان های تنش پیوسته در مکانیک پیوسته ، برای یک سیستم چند فازی اعمال شود. دومین ادعای مورد علاقه این است که «همه اثرات قابل اندازه گیری فشار؛ منحصراً به دلیل تغییر در اثربخشی است.

مجموعه های احتمالی متغیرهای حالت تنش برای خاک های غیر اشباع

تلاش‌های زیادی برای گسترش مفاهیم تنش مفید برای خاک‌های اشباع به محدوده خاک غیراشباع انجام شده است. جدول ۱,۲ شامل یک خلاصه است که برخی از اشکال رایج معادلات تک ارزشی برای خاک های غیر اشباع؛ ارائه شده است. خصوصیات خاک نیز در تمامی معادلات قابل شناسایی است که می توان استدلال کرد که این معادلات روابط سازنده هستند. مشکلات اساساً ماهیت مفهومی دارند و پذیرش آنها باعث انحراف مکانیک کلاسیک پیوسته می شود (فردلوند، ۱۹۸۷).

به گفته فردلوند (۱۹۸۷)، زیر سوال بردن یک ارزش واحد از معادله تنش موثر برای خاک های غیر اشباع در دهه ۱۹۶۰ را می توان به صورت زیر خلاصه کرد: کلمن (۱۹۶۲) استفاده از تنش "کاهش یافته" را پیشنهاد کرد.

متغیرهای u_a و $(u_a - u_w)$ و $(u_a - u_w)$ برای نمایش محوری و محدود کننده و فشار آب منفذی به ترتیب در تست های سه محوری؛ مورد استفاده قرار می گیرند.

روابط سازنده برای تغییر حجم، سپس با استفاده از متغیرهای تنش "کاهش یافته" فرموله شدند.

در سال ۱۹۶۳، بیشاپ و بلایت استفاده از تک ارزش معادله تنش موثر را دوباره ارزیابی کردند و بیان می کند که تغییر در ماتریس ساکشن وجود ندارد وهمیشه منجر به تغییر یکسان در تنش موثر می شود.

نیز پیشنهاد شد که داده های آزمایشگاهی تغییر حجم بر حسب متغیرهای تنش مستقل، $(u_a - u_w)$ و $(u_a - u_w)$ رسم شود. به نظرمی رسد این آغاز؛ انتقال به سمت استفاده از متغیرهای تنش به روشی مستقل می باشد. این رویکرد توسط بلایت (۱۹۶۵) و بورلند (۱۹۶۴، ۱۹۶۵) بیشتر تقویت شد.

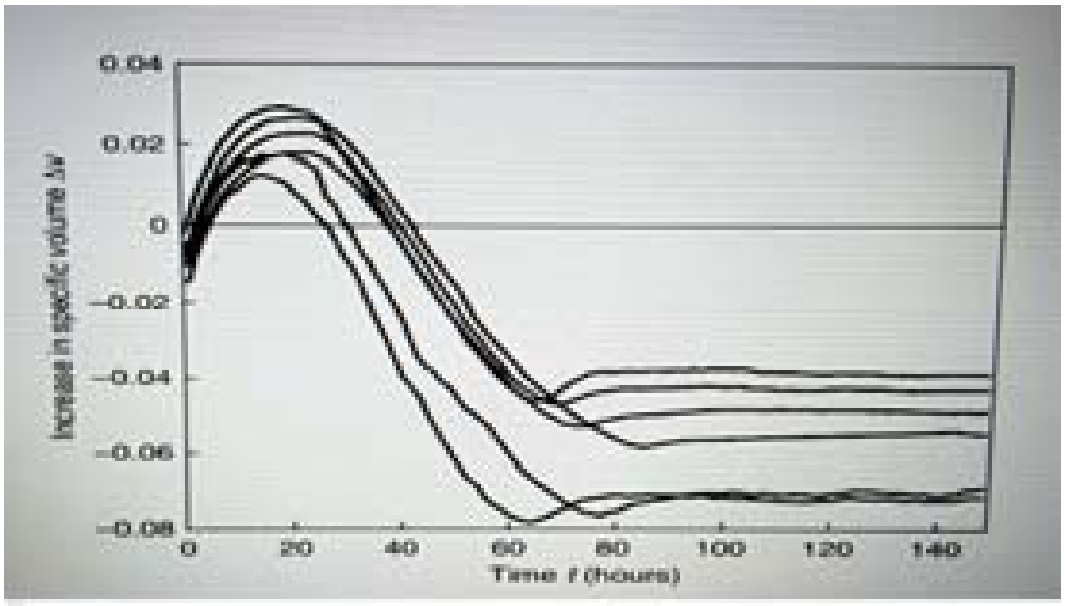
مورگنسترن (۱۹۷۹) مشکلات مرتبط با آن را به وفور خلاصه کرد؛ استفاده از اولین معادله فهرست شده در جدول ۱,۲، با گفتن اینکه ثابت شد که سقف معادله تنش موثر تاثیر کمی دارد. وقتی پارامتر مشخص شد که رفتار تغییر حجم در چه زمانی متفاوت است؟ و مقاومت برشی تعیین می شود.
در حالی که در ابتدا تصور می شد که تابع از درجه اشباع می باشد و از این رو با ۰ و ۱، آزمایش محدود شده است که در آن مشخص شد فراتر از این محدوده می باشد.

جدول۱,۲: معادله های تنش موثر پیشنهاد شده برای انواع خاک های غیر اشباع

Bishop (1959)	X پارامتر مربوط به درجه اشباع U_a فشار در فاز گاز و بخار	$\sigma' = \sigma - u_a + X(u_a - u_w)$
Croney, Coleman and Black (1958)	β عامل نگهدارنده یا باندینگ که معیاری از پیوندهای تحت کشش در کمک به استحکام خاک است	$\sigma' = \sigma - \beta' u_w$
Lambe(1960)	a_a قسمتی از مساحت کل تماس هوا و هوا σ تنش بین ذره ای مواد معدنی a_m مساحت منطقه تماس ذرات معدنی. a_w مساحت منطقه تماس فاز آب. R نیروی دافعه تنش منافذ مایع ناشی از موادشیمیایی A نیروی جاذبه تنش منافذ مایع ناشی از مواد شیمیایی	$\sigma' = \sigma a_m + u_a a_a + u_w a_w + R - A$
Aitchison (1961)	Ψ پارامتری با مقادیر متغیر بین صفر تا یک P" میزان کمبود فشار آب منفذی	$\sigma' = \sigma + \psi p''$
Jennings (1960)	βفاکتورهای آماری از نوع منطقه تماسی که باید در هر مورد به صورت تجربی اندازه گیری شود	$\sigma' = \sigma + \beta p''$
Richards (1966)	x_m پارامتر تنش موثر برای مکش ماتریک h_m ماتریس ساکشن H_sمکش محلول X_sپارامتر تنش موثر برای مکش محلول	$\sigma' = \sigma - u_a + x_m(h_m + u_a) + x_s(h_s + u_a)$

در نتیجه، منطق اساسی جستجوی یک بیان منحصر به فرد برای تنش مؤثر مستقل از درجه اشباع وارد سوال شده است (فردلوند ۱۹۷۳). تنش موثر یک متغیر تنش است و از این رو تنها به ملاحظات تعادل مربوط و شامل یک پارامترکه بر رفتار سازنده تاثیر دارد؛ می شود. این پارامتر با فرض اینکه رفتار یک خاک می تواند به طور منحصر به فرد بر حسب یک متغیر تنش موثر باشد و توسط تطبیق رفتار غیراشباع با رفتار اشباع محاسبه شود. به طور معمول، ما ملاحظات تعادلی را از طریق رفتار سازنده؛ به تغییر شکل ها مرتبط می کنیم و ساختاری را معرفی نمی کنیم. البته نظرات فوق درمورد سایر تک ارزش ها نیز صدق می کند. معادلات در جدول ۱,۲ فهرست شده اند.

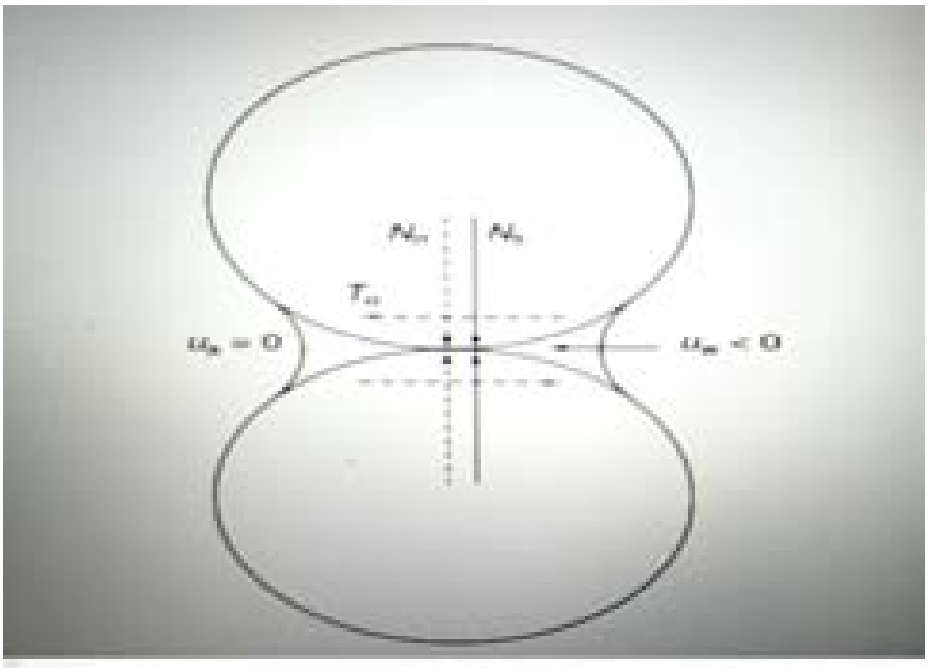
بسیاری از نویسندگان بعدی دریافته اند که انجام آن نسبتاً آسان است اما مقاومت برشی خاک غیر اشباع را به یک پارامتر تنش منفرد شامل U_a و u_w مرتبط می کند و رفتار حجمی توسط آن کنترل نمی شود. به طور خاص، نشان دادن الگوی پیچیده تورم و فروپاشی ناشی از مرطوب شدن بر حسب یک تنش مؤثر غیرممکن است (ویلر و کاروبه، ۱۹۹۵) همانطور که در شکل ۱,۶ نشان داده شده است. اخیرا برخی ازمحققینی مانند مولنکمپ و ناظمی (۲۰۰۳) و لی (۲۰۰۳) نشان دادند که نیروهای بین ذره ای ناشی از پل های آبی منیسک با مجموعه ای از تنش های اعمال شده خارجی در تعادل استاتیکی، خواهد بود. با این حال،اعمال این تنش های خارجی هرگز مجموعه یکسانی را بین نیروهای بین ذره ای ایجاد نمی کند و سیستم استاتیکی نامعین است (ویلر، ۲۰۰۶).



شکل ۱,۶ تغییر حجم مشاهده شده در طول آزمایشات مرطوب سازی روی کائولن فشرده(ویلر و سیواکومار، ۱۹۹۵)

بعید به نظر می رسد که هرگز امکان ابداع تعریف تنش موثر واحد برای خاک غیراشباع؛ رضایت بخش باشد. به دلیل اینکه این همان مکش درون منافذ آب و تنش خارجی اعمال شده به آن می باشد و مرز

یک عنصر خاک؛ به روش های کیفی متفاوتی بر روی آن عمل می کند. همانطور که توسط جنینگز و بورلند (۱۹۶۲) اشاره شد، و از این رو نمی توان دو تنش را در یک پارامتر تنش موثر ترکیب کرد. این تفاوت کیفی در نحوه عمل مکش و تنش خارجی در روش مخلوط هایی که توسط برخی از نویسندگان در تلاش برای استخراج یک بیان استرس موثر(ویلر و کارابه، ۱۹۹۵) استفاده شده است، در نظر گرفته نشده است. به عنوان نمونه ای از حالت های مختلف عمل مکش و تنش خارجی در شکل۱,۷ نشان داده شده است.



Nσ= جزء نرمال نیروی بین دانه ای ناشی از تنش خارجی

Tσ= جزء مماسی نیروی بین دانه ای ناشی از تنش خارجی

Ns = نیروی بین دانه ای ناشی از مکش

شکل ۱,۷ تأثیر تنش خارجی و مکش بر نیروهای بین ذره ای (ویلر و کاروبه، ۱۹۹۵)

یک خاک غیر اشباع را در نظر بگیرید که متشکل از ذرات کروی خاک، با هوای منفذی در فشار اتمسفر و آب منفذی در فشار منفی در منیسک می باشد (ویلر و کاروبه، ۱۹۹۵).

تنش کلی خارجی اعمال شده به مرز یک عنصر خاک؛ حاوی ذرات بسیاری است که نیروهای عادی و مماسی در تماس ذرات، حتی اگر تنش خارجی باشد حالت ایزوتروپیک دارد البته، اثربخشی تحت تأثیر خواهد بود.

وجود آب حجیم در داخل منافذ خاک اگر تنش خارجی افزایش یابد و وجود نیروهای مماسی در تماس ذرات می توانند باعث ایجاد لغزش و کرنش های پلاستیکی بین ذره شوند.(به همین دلیل است که

خاک ها، بر خلاف اکثر فلزات، تحت تأثیر کرنش های حجمی پلاستیک قرار می گیرند؛ در صورتی که بیش از فشار پیش از تحکیم بارگذاری شده اند).

در مقابل، اثر مویینگی ناشی از آب منیسک ناشی از مکش درون منیسک ها است و تنها افزایشی در نیروهای عادی در ذره ایجاد می کند.

متغیرهای تنش برای گرفتن ویژگی های اساسی خاک غیر اشباع، باید تأثیر متفاوت مکش بر رفتار مکانیکیرا به طور کامل شناسایی کند: (به شکل ۱,۸ مراجعه کنید).

* مکش؛ تنش های ساختمان خاک غیر اشباع را؛ هم در حالت عادی و هم مماسی از طریق تغییر متوسط فشار سیال منفذی توده ای داخل منافذ آن؛ تغییر می دهد.

* مکش؛ یک باند نیروی عادی اضافی؛ در تماس ذرات، منسوب به پدیده های مویینگی رخ داده در منیسک های آب یا پوست انقباضی؛ ایجاد می کند (اثرات تثبیت کننده).

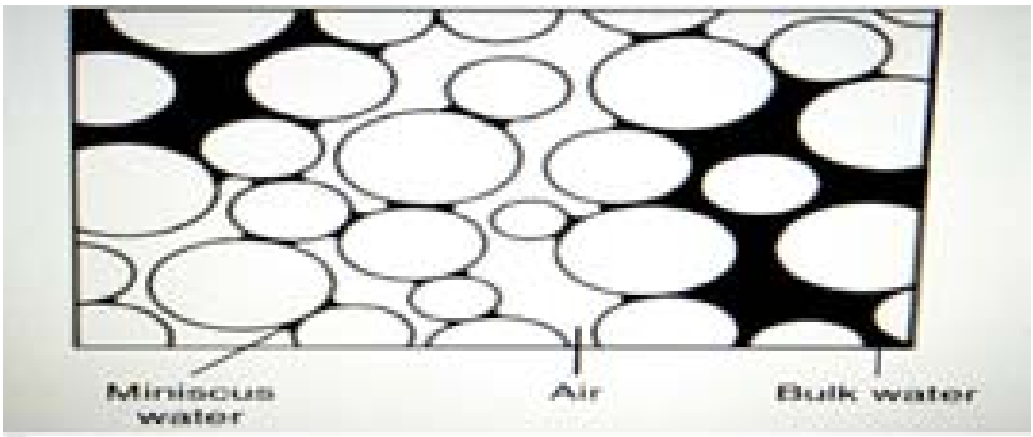
اخیراً چندین ترکیب جدید از دو متغیر حالت تنش ایجاد شده، توسط ویلر و همکاران (۲۰۰۳) و گالیپولی و همکاران(۲۰۰۳) پیشنهاد شده است، که به عنوان اصلاحاتی برای تنش خالص و ماتریس ساکشن $ua - uw$شناخته می شوند. آنها عمدتا در تلاش برای توضیح تأثیر درجه اشباع در خاک هستند. این امر به دلیل وقوع هیدرولیک حیاتی است. پسماند در منحنی مشخصه خاک-آب وابسته به حالت (SDSWCC) یا منحنی احتباس آب ؛ وابسته به فرآیندهای خشک کردن و مرطوب کردن ؛ می باشد.

متغیرهای حالت تنش پیچیده توسط ویلر و همکاران مورد بحث قرار گرفته است(گالیپولی و همکاران ۲۰۰۳). علاوه بر این، یک مدل حالت بحرانی برای خاک های غیر اشباع؛ بر اساس دو متغیر حالت تنش مستقل منتشر کردند.

که به نظر می رسد بر برخی از محدودیت های مدل های قبلی غلبه کند(شنگ و همکاران، ۲۰۰۷).

خلاصه ای از موقعیت متغیرهای حالت تنش

علیرغم تلاش های مبتکرانه فراوان برای یافتن یک بیان کلی برای تنش های موثر، وقت آن است که نتیجه گیری کنیم که شرح طیف کامل رفتار خاکهای غیراشباع؛ حداقل مستلزم استفاده همزمان از دو متغیر حالت تنش برای توصیف اثرات آب و فله آب منیسک، به طور جداگانه می باشد (شکل ۱,۸).



شکل ۱,۸ دو شکل آب مایع در یک خاک غیر اشباع (ویلر و کاروب،۱۹۹۵; ویلر، ۲۰۰۶)

با این حال، به منظور جلوگیری از پیچیدگی بیش از حد برای برنامه های مهندسی، استفاده از دومتغیر مستقل تنش (u_a-□) و(u_a-u_w) ساده است؛ احتمالاً نوید بیشتری برای مهندسین دارد.

مهندسین ژئوتکنیک اگر چه در این دو حالت تنش مستقل، متغیرها دارای محدودیت هایی هستند، تأییدهای تجربی و مشتقات نظری قانع کننده ای در حمایت از آنها به طور کلی وجود دارد (هولزبی،۱۹۹۷). فرمول هایی برای برخی از تحلیل های مهندسی با استفاده از این دو متغیر حالت تنش مستقل منتشر شده است (آلونسو و همکاران، ۱۹۹۰؛ ویلر) و سیواکومار، ۱۹۹۵; چیو و نگ، ۲۰۰۳).

(Fredlund) و (Rahardjo) اشاره می کنند که یک خاک غیر اشباع، معمولاً به عنوان یک سیستم سه فاز شناخته می شود. این فازها عبارتند از:

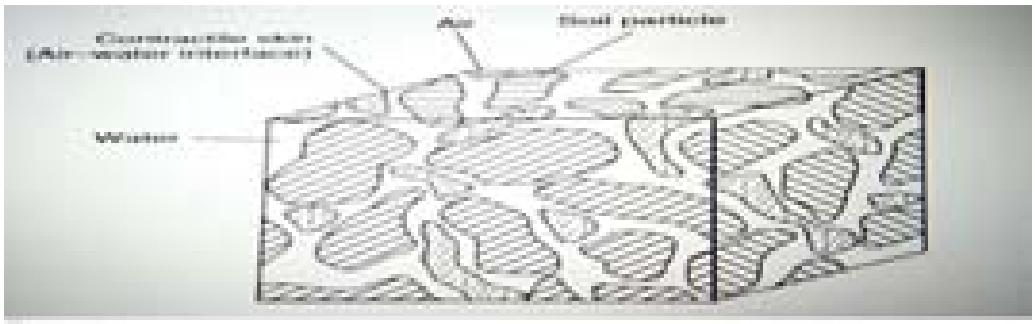
*هوا

*اب

*جامد

با این حال، نتایج تحقیقات اخیر به نقش مهم رابط هوا و آب (یعنی پوست انقباضی) ؛ پی برده است که باید تضمین شود که به عنوان یک مرحله اضافی؛ هنگام در نظر گرفتن مکانیسم های فیزیکی خاص در نظر گرفته شود. زیرا وقتی فاز هوا پیوسته است، پوست انقباضی با آن تعامل دارد وذرات خاک را تحت تأثیر قرار می دهد و در نهایت بر رفتار مکانیکی آن تأثیر می گذارد.

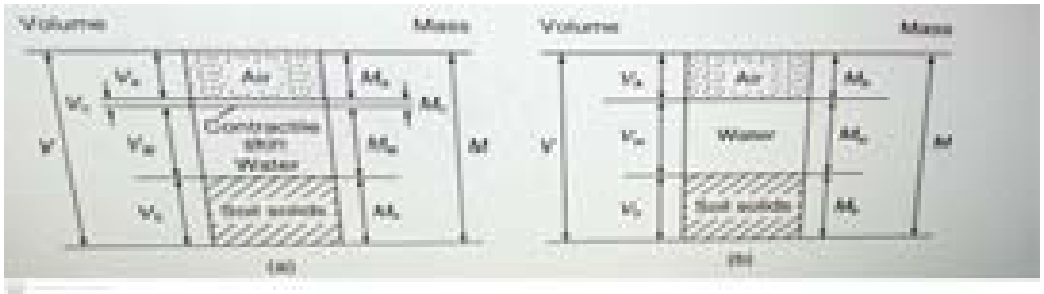
خاک عنصری از خاک غیر اشباع با فاز هوای پیوسته ایده آل شده می باشد که (در شکل۱,۹) جرم و حجم هر فاز را می توان به صورت شماتیک نشان داد.



شکل ۱,۹ عنصری از خاک غیراشباع با فاز هوای پیوسته (بعد از فردلوندو Rahardjo، 1993).

همانطور که در شکل ۱,۱۰ یک نمودارسه فاز نشان داده شده است؛ ضخامت پوست منقبض فقط در حد لایه های چند مولکولی است.

بنابراین تقسیم فیزیکی پوست انقباضی؛ به عنوان بخشی از فاز آب بدون هیچ خطای قابل توجهی؛ در نظر گرفته می شود. یک نمودار سه فازی ساده شده هنگام اشاره به جمع جرم ها وحجم تمام ذرات خاک



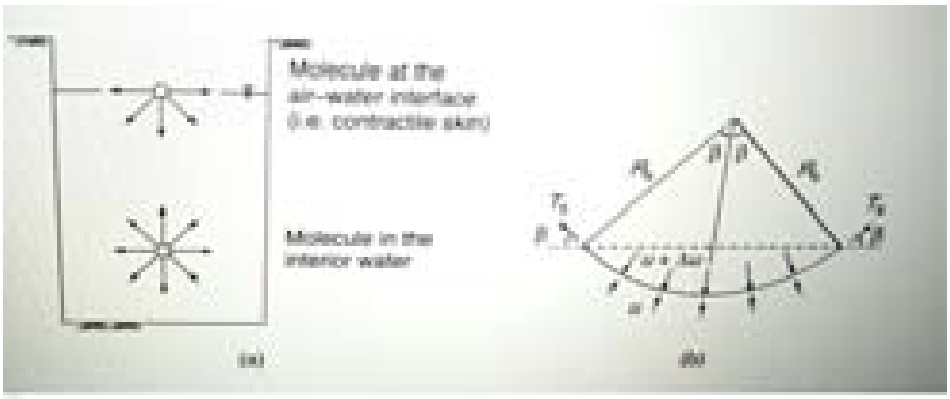
شکل ۱,۱۰ نمودارهای فازی دقیق و ساده شده برای یک خاک غیر اشباع. (الف) سختگیرانه سیستم خاک غیر اشباع چهار فاز را نشان می دهد؛ (ب) نمودار سه فاز ساده شده (فردلوند و راهاردجو، ۱۹۹۳)

کشش سطحی (فردلوند و راهاردجو، ۱۹۹۳)

رابط هوا و آب (یعنی پوست انقباضی) دارای خاصیتی به نام کشش سطحی می باشد.

کشش سطحی ناشی از نیروهای بین مولکولی است و متفاوت از آنهایی هستند که روی مولکولهای داخل آب اثر می کنند، همانطور که در شکل ۱,۱۱ نشان داده شده است.

یک مولکول در داخل آب در همه جهت ها؛ نیروهای مساوی را تجربه می کند، به این معنی که هیچ نیروی نامتعادلی وجود ندارد. یک مولکول آب در پوست انقباضی، نیروی نامتعادلی را به سمت پوست انقباضی تجربه می کند.



شکل ۱,۱۱ کشش سطحی در فصل مشترک هوا و آب. (الف) نیروهای بین مولکولی بر روی پوست انقباضی و آب؛ (ب) فشارها و کشش سطحی که بر روی یک منحنی سطح دو بعدی اثر می کنند (فردلوند و راهاردجو، ۱۹۹۳)

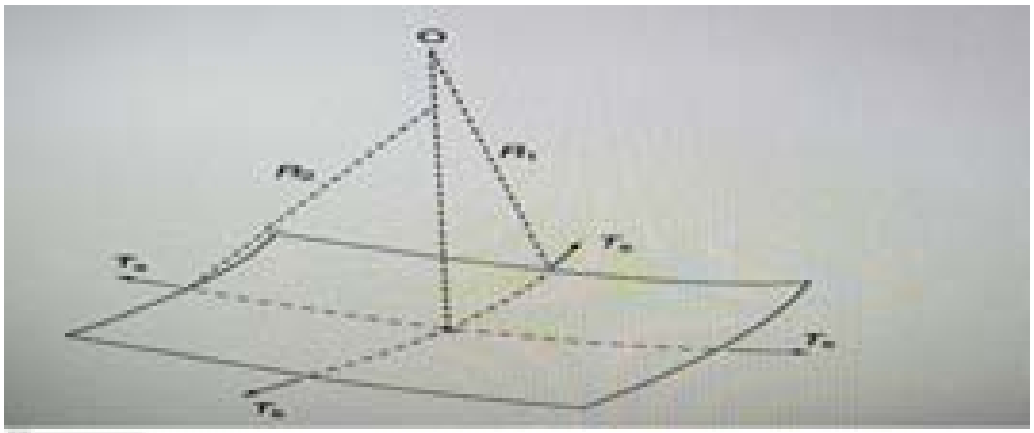
برای اینکه پوست انقباضی در تعادل باشد، کشش کششی در امتداد پوست انقباضی ایجاد می شود. پوست انقباضی که به آن اجازه می دهد کشش کششی داشته باشد، سطح آن، کشش سطحی T_s نامیده می شود. کشش سطحی به عنوان نیروی کششی پوست انقباضی؛ در واحد طول اندازه گیری می شود (یعنی واحدهای N/m).

مقدار کشش سطحی مماس برسطح پوست منقبض؛ با افزایش دما، کاهش می یابد.

جدول ۱,۳ مقادیر کشش سطحی را برای پوست انقباضی در موارد مختلف دما نشان می دهد (کی و لابی، ۱۹۷۳).

کشش سطحی بر حسب(m N/m)	درجه حرارت(t °) بر حسب °c
۷۵,۷	۰
۷۴,۲	۱۰
۷۳,۲	۱۵
۷۲,۷۵	۲۰
۷۲	۲۵
۷۱,۲	۳۰
۶۹,۶	۴۰
۶۷,۹	۵۰
۶۶,۲	۶۰
۶۴,۴	۷۰
۶۲,۶	۸۰
۵۸,۸	۱۰۰

کشش سطحی باعث می شود که پوست منقبض مانند یک غشاء الاستیک رفتار کند (شکل ۱,۱۲). این رفتار شبیه بادکنک باد شده ای است که در داخل بالون فشار بیشتری نسبت به بیرون وجود دارد. اگرغشای دو بعدی انعطاف پذیر در هر طرف تحت فشارهای مختلفی قرار می گیرد. غشاء باید یک انحنای مقعر به سمت فشار بزرگتر به خود بگیرد و به غشاء کشش وارد می کنند تا در حالت تعادل باشند.



شکل ۱,۱۲ کشش سطحی روی یک غشای تاب خورده (فردلوند وRahardjo ، 1993)

این اختلاف فشار در سراسر سطح منحنی را می توان به سطح کشش و شعاع انحنای سطح با در نظر گرفتن تعادل در سراسر غشاء مرتبط کرد:

$$2T_s \sin\beta = 2\Delta u\, R_s \sin\beta \qquad (1.3)$$

فشارهای وارد بر غشا u و u+ هستند. غشاء دارای شعاع انحنای R_s و کشش سطحی T_s می باشد.

$$\Delta u = T_s / R_s \qquad (1.4)$$

نیروهای افقی در امتداد غشاء؛ یکدیگر را متعادل می کنند. تعادل نیرو در جهت عمودی سطح بازآرایی معادله فوق را می دهد:

$$\Delta u = T_s (1/R_1 + 1/R_2)$$

(1.5)

معادله بالا اختلاف فشار را در یک سطح منحنی دو بعدی با شعاع Rs و کشش سطحی Ts برای تاب خورده یا سطح زینی شکل (یعنی غشای سه بعدی) نشان می دهد.

که در آن R1 و R2 شعاع انحنای یک غشای تاب خورده هستند که صفحات اصلی متعامد را به دو قسمت تقسیم نموده. اگر شعاع انحنا در همه جهات یکسان باشد (یعنی R1 و R2 معادل Rs) باشند؛ معادله به معادله بالا تبدیل می شود.

در یک خاک غیر اشباع، پوست انقباضی در معرض هوا قرار می گیرد فشار هوا u_a از فشار آب u_w بیشتر است.تفاوت فشار $u_a - u_w$، به عنوان ماتریس ساکشن شناخته می شود. اختلاف فشار باعث می شود که پوست منقبض مطابق با معادله فوری منحنی شود:

$$\Delta u = 2\, T_s / R_s \qquad (1.6)$$

که در آن $u_a - u_w$ ماتریس ساکشن یا تفاوت بین هوای منفذی و منافذ است به این معادله مدل مویینگی کلوین می گویند. با افزایش ماتریس ساکشن خاک، شعاع انحنای پوست انقباضی کاهش می یابد. منحنی پوست انقباضی اغلب؛ منیسک نامیده می شود. زمانی که اختلاف فشار بین هوای منافذ و آب منفذی به صفر می رسد، شعاع انحنا R_s به بی نهایت می رسد. بنابراین، هنگام ماتریس ساکشن، یک رابط صاف هوا و آب وجود دارد.

کاویتاسیون (یانگ، ۱۹۸۹؛ مارینیو، ۱۹۹۵؛ مارینیو و دسوزا پینتو، ۱۹۹۷)

بررسی اجمالی

یانگ درسال(۱۹۸۹) اشاره می کند که آب منفذی در خاک؛ می تواند بسیار بالا بماند وفشارهای منفی (مکش) و تخمین فشار با استفاده از آن امکان پذیر است. با این حال، تلاش برای اندازه گیری مستقیم مکش بیشتر از یک اتمسفر اغلب انجام می شود. تا همین اواخر به دلیل کاویتاسیون در سیستم اندازه گیری ناموفق بود.

تشخیص داد که آب دارای استحکام کششی بالایی است و این ویژگی در تضاد با پدیده کاویتاسیون مشاهده شده در سیستم های اندازه گیری است. عدم ارتباط متقابل بین علوم مختلف درگیر در اندازه گیری فشار گیج منفی در مایعات؛ که سیستم اندازه گیری مکش مستقیم برای خاک و درک رفتار خاک های غیر اشباع که عموما دارای منافذ گیج منفی هستند؛ توسعه را به تاخیر انداخته است.

تعاریف

یانگ در سال (۱۹۸۹) گزارش می دهد که کاویتاسیون تشکیل و فعالیت حباب ها(یا حفره هایی) در یک مایع است. در اینجا کلمه "تشکیل" به معنای کلی اشاره دارد"هم برای ایجاد یک حفره جدید" و هم برای گسترش یک حفره از قبل موجود؛ تا اندازه ای که بتوان اثرات ماکروسکوپی را مشاهده کرد. این حباب ها ممکن است در مایع معلق باشد یا ممکن است در شکاف های ریز یا در داخل سطح مرزی مایع یا در ذرات جامد معلق در مایع، به دام افتاده باشد.

گسترش حباب ها تحت تاثیر فشار محیط به وسیله استاتیک یا دینامیکی باعث می شود که حباب ها بزرگ شوند و به اندازه ای که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده باشد. حباب ها ممکن است حاوی گاز یا بخار یا مخلوطی از هر دو گاز و بخار باشند. اگر حباب ها حاوی گاز هستند، پس انبساط ممکن است با انتشار گازهای محلول از مایع به داخل حباب باشد، یا با کاهش فشار، یا با افزایش دما.

با این حال،حباب ها عمدتاً حاوی بخار هستند و فشار محیط را به اندازه کافی کاهش می دهند.

در دمای اساساً ثابت باعث تبخیر "منفجره" حفره ها می شود که پدیده ای است که کاویتاسیون نامیده می شود.

در حالی که افزایش دما به اندازه کافی باعث ایجاد حباب های بخار می شود و به طور مداوم رشد می کنند و اثری به نام جوش را ایجاد می کنند. این به این معنی است که تبخیر یا جوش "منفجره" تا زمانی که به یک آستانه نرسیده باشد رخ نمی دهد.

بنابراین چهار راه برای القای رشد حباب وجود دارد (یانگ، ۱۹۸۹):

۱- برای حباب پر از گاز، با کاهش فشار یا افزایش دما؛ که به آن کاویتاسیون گازی می گویند.

۲- برای حباب پر از بخار، با کاهش فشار؛ که به آن کاویتاسیون بخار می گویند

۳- برای حباب پر از گاز، با انتشار گاز از مایع خارج می شود. به این حالت گاز زدایی می گویند.

۴- برای حباب پر از بخار، با افزایش دما کافی ؛ که به آن غلیان می گویند.

وضعیت پیچیده است زیرا حباب معمولاً حاوی مخلوطی از گاز و بخار است.

شروع کاویتاسیون و هسته ها

پیرسال در سال (۱۹۷۲) مشاهده می کند، در تئوری؛ یک مایع زمانی تبخیر می شود که میزان فشار به فشار بخار آن کاهش می یابد. در عمل فشاری که در آن شروع کاویتاسیون تا حد زیادی به وضعیت فیزیکی مایع بستگی دارد. اگر مایع حاوی مقدار زیادی هوای محلول باشد، سپس با کاهش فشار هوا؛ هوا کاهش و از محلول خارج می شود و حفره هایی ایجاد می کند که فشار در آنها نسبت به فشار بخار مایع؛ بیشتر خواهد بود. حتی اگر هیچ حباب هوای قابل مشاهده ای وجود نداشته باشد، وجود حباب‌های زیر میکروسکوپی گاز ممکن است هسته‌هایی را ایجاد کند که باعث ایجاد آن می‌شود.

کاویتاسیون در فشارهای بالاتر از فشار بخار؛ باعث می شود هر حباب کاویتاسیون از یک هسته به اندازه محدود رشد می کند و دوباره در تمام چرخه فرو می ریزد که این فروریختن در عرض چند میلی ثانیه اتفاق بیفتد. ممکن است حباب‌ها به دنبال هر کدام بیفتند؛ دیگر آنقدر سریع که در چشم به نظر می رسد که یک حباب پیوسته واحد را تشکیل می دهند.

در غیاب هسته، مایع ممکن است در فشارهای منفی یا تنش بدون کاویتاسیون در تئوری، بتواند در برابر تنش هایی معادل هزاران جو مقاومت کنند؛ برآورد می شود.

به عنوان مثال، آب در برابر کشش بین ۵۰۰ تا۱۰۰۰۰ اتمسفر مقاومت می کند (Harvey et al., 1947).

در عمل، حتی زمانی که آب تحت فیلتراسیون شدید قرار گرفته و تا چند صد مورد از قبل تحت فشاراتمسفر قرار گرفته است، در تنش های ۳۰۰ اتمسفر پاره شده است. مطابق با گفتهPlesset ، آب بدون هسته از نظر تئوری در برابر تنش ۱۵۰۰۰ اتمسفر مقاومت می کند، اما احتمال این اتفاق کم است؛ مگراینکه حباب ها دارای ابعاد مولکولی باشند. با این حال، زمانی که جامد غیر مرطوب؛ هسته هایی با اندازه ۱۰-۸ سانتی متر دارند، احتمال دارد که آب در آن پاره شود. از این نتیجه می شود که

باید بتوان آب را در خلاء تا ارتفاعی بیشتر از آن مطابق با فشار اتمسفر این در واقع توسط پیش فشار دادن مایع (هایوارد، ۱۹۷۰) اتفاق می افتد؛ بالا برد.

فیزیک آب منفذی تحت کشش در خاک های غیر اشباع

مارینیو و چندلر (۱۹۹۵) مشاهده کردند که برای اندازه گیری ماتریس ساکشن با استفاده از یک تانسیومتر، نیاز است که آب داخل سیستم اندازه گیری در سطح مقدار تنش کششی به اندازه آب منافذ خاک باشد.

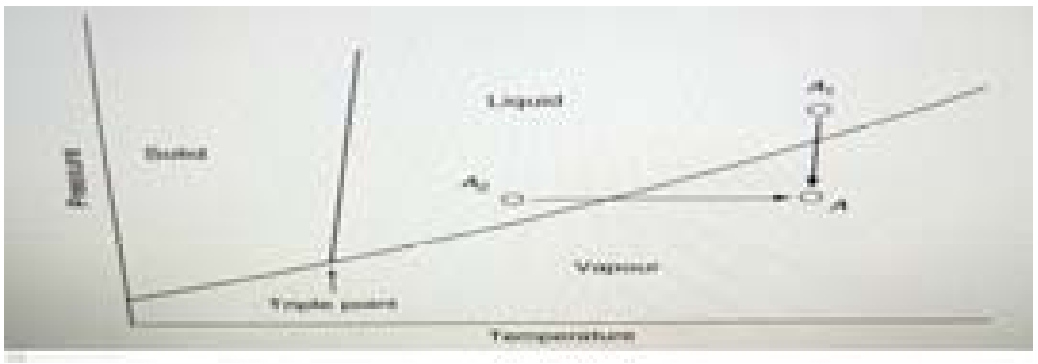
و این ممکن است کاویتاسیون را القا کند، کاویتاسیون عبارت است از نتیجه کاهش فشار است و تأثیری دارد که پس از کاویتاسیون رخ داده است. فشار اندازه گیری شده تقریباً برابر با فشار گاز خواهد بود. در سیستم احتمالاً به همین دلیل است که این باور غیرممکن است.

شرایطی که تحت آن یک مایع با رابط مسطح مایع و گازتبخیر خواهد شد توسط منحنی فشار بخار - دما برای آن مایع خاص نشان داده می شود. با این حال، اگر رابط مایع و گاز مسطح نباشد، همانطور که در صورت وجود حفره بخار (حباب) در مایع، امکان رسیدن به یک حالتی که معمولاً فاز بخار با بدون فاز بخار مرتبط است.

نمودار فاز برای یک ماده ساده، همانطور که در شکل ۱,۱۳ نشان داده شده است

مناطقی که تحت یک ترکیب فشار و دمای معین، ماده در فاز جامد، مایع یا بخار است.

ماده در نقطهA یک بخار خواهد بود. با این حال، تحت شرایط خاصی ممکن است، از A1 شروع کنید تا فشار را کاهش دهید و با فشار کمتر به A برسید و برای اینکه ماده در مایع باقی بماند. به همین ترتیب، می توان از A2 به A رفت و مایع باقی مانده است. وقتی که مرز فاز بدون تغییر فاز ؛ از ماده عبور می کند؛گفته می شود از مرز تجاوز شده است. اگر تخلف صورت گرفته باشد، گفته می شود که سیستم در یک حالت فراپایدار است (Apfel, 1970).



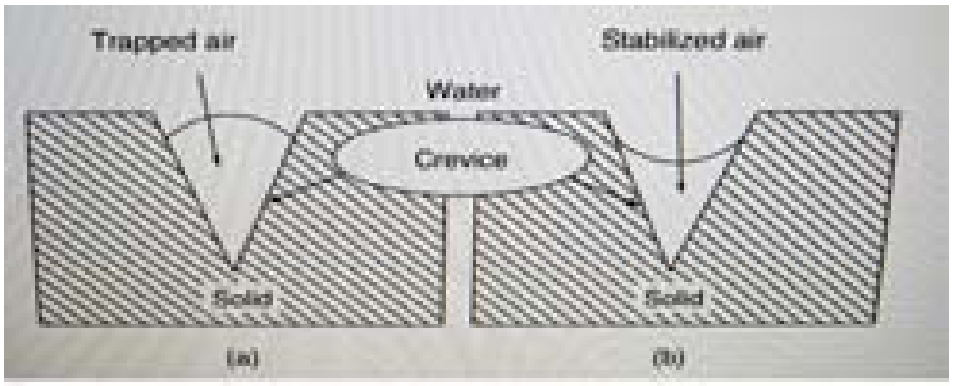
شکل ۱,۱۳ نمودار فاز برای یک ماده ساده (پس از Marinho و Chandler، 1995).

تنش زیرآب در شرایط فراپایدار است و این فراپایداری می تواند اگر هسته زایی رخ دهد؛ از بین برود. هسته سازی تشکیل حفره های بخار در داخل خود مایع یا در مرزهای آنها می باشد (ترونا، ۱۹۸۷).

کاویتاسیون در یک مایع ناپایدار می تواند ناشی از دو نوع هسته زایی باشد:
۱-هسته زایی در مایع خالص و۲- هسته زایی ناشی از ناخالصی در مایع.
ناخالصی ها مایع می توانند مواد خالص دیگر، ناخالصی های جامد یا حتی تشعشعات بر روی مایع هسته در یک مایع خالص نامیده شود.
هسته سازی "همگن" و هسته زایی ناشی از ناخالصی ها را هسته "ناهمگن" می نامند. هسته زایی ناهمگن شایع تر است و مسئول بیشتر کاویتاسیون است که در اندازه گیری مکش رخ می دهد.

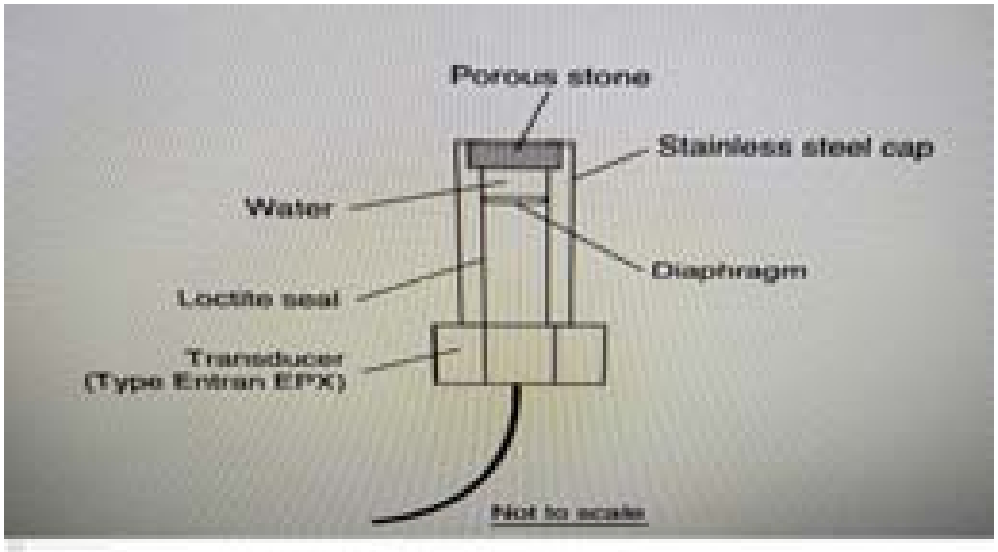
چگونه از کاویتاسیون جلوگیری کنیم؟

مارینیو و سوزا پینتو (۱۹۹۷) مشاهده کردند که اگرچه آب می تواند کشش راحفظ کند، اما تلاش برای اندازه گیری مکش خاک بالاتر از 1 atm با استفاده از تانسیومتر شکست خورده است.
دلیل آن به دام افتادن هوای داخل ریزشاخ های سیستم است که نظریه های زیادی وجود دارد که سعی می کنند گیر افتادن هوا بین ظرف مایع و جامد را توضیح دهند ؛ مرتبط می شود.
هارویئو همکاران(۱۹۴۴) مقبول ترین مدل را برای توجیه حضور هوا و چگونگی تثبیت هسته های هوا، ارائه کردند.
شکل ۱,۱۴ یک نمایش شماتیک از هوای به دام افتاده را نشان می دهد
روش معمول اشباع یک تانسیومتر هوای محبوس شده را هسته های کاویتاسیون می نامند.
برای حل شدن این هوا باید فشار آب مثبت اعمال شده؛ بالا باشد. با این حال، با توجه به برخی از جنبه های خاص هندسه شکاف هوا ممکن است حل نشود. در این مورد استفاده از فشار آب مثبت همانطور که در شکل b۱,۱۴ نشان داده شده است، ممکن است هسته های کاویتاسیون را "تثبیت" کند.
تثبیت هسته های کاویتاسیون باعث افزایش سطح مکش؛ قابل اعمال می شود. مشخص نیست که این فرآیند چگونه رخ می دهد، و بنابراین نمی تواند دقیقاً کنترل شود (مارینیو و سوزا پینتو، ۱۹۹۷).
معمولا فشار لازم برای تثبیت هسته های کاویتاسیون ؛ بیش از ۵ مگاپاسکال است (ریدلی و بورلند، ۱۹۹۳ ومارینیو و سوزا پینتو، ۱۹۹۷).



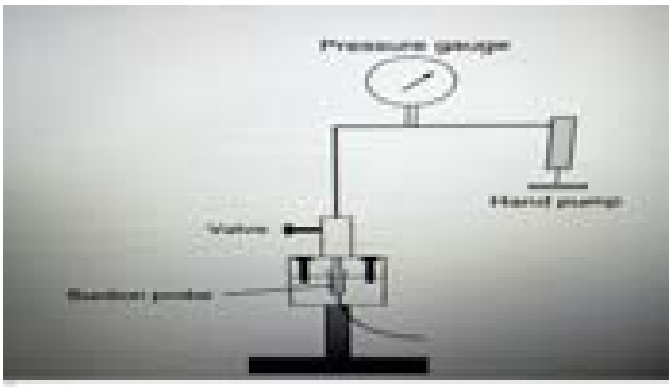
شکل ۱,۱۴ هسته های کاویتاسیون (Marinho و de Sousa Pinto، 1997).

یک روش شیمیایی مورد استفاده با روش معمول تثبیت هسته های کاویتاسیون در داخل یک پروب مکش می باشد که در (شکل ۱,۱۵ مشاهده می کنید).



شکل ۱,۱۵ نمایش شماتیک پروب مکش (Marinho و des)

آنها گزارش دادند که روش شیمیایی مورد استفاده سطح فشار مثبت را کاهش داد. سیستم مورد استفاده مارینیو و سوزا پینتو (۱۹۹۷) توسط یک پمپ دستی تا حداکثر فشار ۳,۵ مگاپاسکال تحت فشار قرار گرفته است که در شکل ۱,۱۶ نشان داده شده است. این فشار به مدت ۲۴ ساعت حفظ شد. سیستم سپس ۱۰ بار از فشار ۳,۵ مگاپاسکال تا فشار صفر چرخیده شد. پس از آن توانست برای حفظ مکش تا ۶۵۰ کیلو پاسکال فشار را تحمل کند.



شکل ۱,۱۶ سیستم اشباع تانسیومتر با استفاده از فشار مثبت بالا (مارینیو و دی سوزا پینتو، ۱۹۹۷)

سنگ متخلخل استفاده شده دارای اسمی مقدار اسمی ورودی هوا ۵۰۰ کیلو پاسکال می باشد. مارینیو و سوزا پینتو (۱۹۹۷) بر این باور بودند که عمل شیمیایی می تواند به از بین بردن هسته های کاویتاسیون کمک کند. بنابراین، برای کاهش احتمال به دام افتادن هوای حل نشده دائمی در سیستم، اقدامات زیر توسط Marinho و چندلر (۱۹۹۵) صورت گرفت:

*استفاده از آب بدون هوا برای جلوگیری از اشباع هوا مهم است (جوش آب روش مناسبی است).

*آب و تمام سطوح داخل سیستم اندازه گیری بایدبسیار خالص و تمیز باشد(هندرسون و اسپیدی، ۱۹۸۰).

*سطوح در تماس با آب باید تا حد امکان صاف باشند.

*از تعداد و اندازه شکاف ها اجتناب کنید یا کاهش دهید.

*هر چه سطح منطقه آن کوچکتر باشد، جلوگیری از کاویتاسیون آسان تر است.

*سیستم باید با استفاده از خلاء تخلیه شود تا بتواند هر چند حداکثر هوای محبوس شده در شکاف ها را حذف کنید.

بعید است که تمام هوا حذف شود (جونز و همکاران، ۱۹۸۱).

*سیستم باید از فشار مثبت به صفر (یا منفی) در چرخش باشد. که این مهم ، ممکن است به حل کردن حباب های پایدار کمک کند (چپمن و همکاران، ۱۹۷۵;ریچاردز و ترونا، ۱۹۷۶).

*به منظور انجام پیش فشار سیستم تا فشار بالا لازم است تمام هوای آزاد را حل کنید (Harvey et al., 1944).

ذکر این نکته ضروری است که در صورت وجود هسته، کاویتاسیون می تواند به تعویق بیفتد.

رویه‌های بالا احتمالاً فقط باعث تثبیت هسته آن می‌شوند، که باید امکان اندازه گیری سطح معینی از مکش را قبل از ایجاد کاویتاسیون، فراهم کند.

لازم به ذکر است که کاویتاسیون رخ نخواهد داد؛ اگرهیچ هسته کاویتاسیونی وجود نداشته باشد. نمونه هایی از موفقیت و شکست اندازه گیری مکش خاک بالاتر از 1 atm با استفاده از تانسیومتر داده شده است و به تفصیل توسط تاک و بولتون (۲۰۰۳) و ژو و همکاران(۲۰۰۶) مورد بحث قرار گرفته است.