



## مقایسه مدل‌های الاستیک غیر خطی و الاستوپلاستیک در پاسخ THM خاکهای غیر اشباع

فاطمه صالح نیا<sup>۱</sup>، بهروز گتمیری<sup>۲</sup>

۱- بخش مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران

2- Université de Paris-Est, Inst. Navier, CERMES, Ecole des Ponts et Chaussées, Paris, France

[f\\_salehnia@yahoo.com](mailto:f_salehnia@yahoo.com)

[gatmiri@cermes.enpc.fr](mailto:gatmiri@cermes.enpc.fr)

### خلاصه

مقاله حاضر مقایسه ای بین مدل‌های الاستیک غیر خطی و الاستوپلاستیک در مطالعه رفتار ترموهیدرومکانیکی محیط‌های چند فازه را ارائه می‌کند. یک فرمولاسیون ترموهیدرومکانیکی کاملاً همبسته با در نظرگیری تنش خالص و مکش به عنوان متغیرهای حالت استفاده می‌شود. اثرات کویله حرارت و مقدار رطوبت روی تغییر شکل اسکلت در مدل الاستیک غیر خطی، به کمک مفهوم سطوح حالت ارائه شده است. بعد از یک شرح خلاصه از فرمولاسیون و اصول اساسی مدل الاستوپلاستیک مورد استفاده، مدل مذکور با بررسی نتایج تحلیل یک مثال کاربردی مورد ارزیابی قرار گرفته و با مدل الاستیک غیر خطی مقایسه می‌شود.

کلمات کلیدی: رفتار ترموهیدرومکانیکی، محیط متخلخل، الاستیک غیر خطی، الاستوپلاستیک

### ۱. مقدمه

اثرات ناشی از تغییرات درجه حرارت در محیط طبیعی خاک باعث شده که اهمیت ویژه ای به پدیده انتقال رطوبت ناشی از گرادیان حرارتی داده شود. دفع زباله های اتمی در ساختمان های دو یا چند فازه به عنوان نمونه ای از این واقعیت، امروزه در مرکز توجه زیادی قرار گرفته است. از این رو کویلاژ کامل بین اثرات گوناگون مکانیکی، هیدرولیکی و حرارتی در یک محیط متخلخل تغییر شکل پذیر باید صورت گیرد. تئوری Philip & de Vries که از سال ۱۹۵۷ به عنوان یک چهارچوب اساسی و تئوری قابل فهم جابجایی رطوبت و حرارت در یک محیط متخلخل تراکم ناپذیر مطرح است، در بسط فرمولاسیون کاملاً همبسته ترموهیدرومکانیکی مورد استفاده در این مطالعه استفاده شده است. در خاکهای غیر اشباع، انتقال رطوبت در هر دو فاز مایع و بخار رخ می‌دهد، که این واقعیت در این تئوری تحت اثرات ترکیبی ثقل، گرادیان درجه حرارت و مقدار رطوبت لحاظ شده است. هم چنین تغییر فاز بین مایع و بخار، تبخیر و چگالش نیز در نظر گرفته شده اند. همان طور که در بسط فرمولاسیون ترموهیدرومکانیکی (THM) مذکور توسط گتمیری (۱۹۹۷) نیز آورده شده است، اولین گام در بسط تئوریک یک مدل ترموهیدرومکانیکی کاملاً همبسته، انتخاب متغیرهای مناسب و مستقل به گونه ای است که قادر به ارائه تمامی اثرات متقابل مؤلفه های مختلف در یک محیط متخلخل غیر اشباع تغییر شکل پذیر با سه فاز (اسکلت جامد، آب و هوا) تحت بارگذاری حرارتی باشند. بدین منظور در بسط این فرمولاسیون، از دو متغیر حالت مستقل تنش خالص و مکش استفاده شده است که با کاربرد آن ها، توزیع فشارهای حفره ای آب و هوا، و هم چنین تغییر شکل اسکلت خاک قابل توصیف می‌باشد. هم چنین لازم به تذکر است که در فرمولاسیون فوق الذکر، مفهوم سطوح حالت نقش مهمی را در ارائه اثرات همبسته رفتار الاستیک غیر خطی خاک ایفا می‌کنند. در واقع از آن جا که تغییر شکل محیط قابل توجه است، اثرات کویله درجه حرارت و مقدار رطوبت روی تغییر شکل اسکلت خاک و اثرات معکوس آن ها باید در نظر گرفته شوند که سطوح حالت وابسته به حرارت نسبت تخلخل و درجه اشباع گامی در جهت تحقق این هدف می‌باشند. در ادامه شرح خلاصه ای از معادلات اساسی در این فرمولاسیون آورده خواهد شد. در این مقاله از برنامه اجزای محدود  $\theta$ -Stock که توسط گتمیری کد گذاری شده و چهارچوب ترموهیدرومکانیکی کاملاً کویله مذکور در آن فرموله شده است، به منظور ارزیابی مدل الاستوپلاستیک وارد شده در آن و مقایسه نتایج حاصل از آن با مدل الاستیک غیر خطی استفاده می‌شود. واضح است که علی رغم سادگی مدل الاستیک غیر خطی، استفاده از مدل الاستوپلاستیک رفتار واقعی تری از خاک غیر اشباع را نشان می‌دهد.