

MINISTERUL EDUCATIEI NATIONALE

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII DIN BUCUREȘTI FACULTATEA DE HIDROTEHNICĂ

Al-Dulaimi Ali A. Ahmed

***MANAGEMENTUL SIGURANȚEI STRUCTURILOR
DE PAMANT IN CEEA CE PRIVEȘTE CONTROLUL
INFILTRAȚIILOR***

- Teză doctorat-

**Coordonator doctoral
Prof. Dr. Ing. Dan Stematiu**

București, 2021

CUPRINS

ABSTRACT	I
1 INTRODUCERE	I
1.1 Observații generale	I
1.2 Obiectivele tezei	II
1.3 Structura tezei	III
2 BARAJE DE PAMANT	IV
3 ANALIZA STATICĂ A BARAJEOR DE PĂMÂNT	V
3.1 Analiza infiltrațiilor	V
3.2 Controlul infiltrațiilor în terasamente	V
3.3 Controlul infiltrațiilor în fundațiile de pământ	V
3.4 Analiza stabilității	VI
3.5 Analize cuplate și de consolidare	VI
4 EROZIUNE INTERNĂ	VII
4.1 Importanța eroziunii interne pentru siguranța barajului	VII
4.2 Descrierea parcursului cedării	VII
5 STUDIU DE CAZ	VIII
5.1 Barajul Chamrga	VIII
5.2 Simulare și modelare	IX
5.3 Modelul barajului și parametrii materialelor	IX
5.4 Scenarii simulate	X
5.5 Analiza infiltrațiilor	XI
5.6 Analize tensiune-deformație	XII
5.7 Analiza stabilității	XII
6 REZULTATE SI ANALIZA	XIII
6.1 Analiza infiltrațiilor	XIII
6.2 Analiza cuplată tensiune – presiune pori	XVII
6.3 Analiza stabilității	XX
6.4 Factorul de siguranță	XX
7 CONCLUZIE ȘI RECOMANDARI	XXIV
8 Referințe	XXV

TABEL IMAGINI

FIGURA 2-1. SCHEMA UNUI BARAJ DE PĂMÂNT CU NUCLEU IMPERMEABIL ÎNCLINAT	V
FIGURA 5-1. PROIECTAREA EFECTIVĂ A BARAJULUI CHAMRGA (ALI A. ALDULAIMI, 2021).	IX
FIGURA 5-2. SCENARIUL 2, (ALI A. ALDULAIMI, 2021).	X
FIGURA 5-3. SCENARIUL 3, (ALI A. ALDULAIMI, 2021).	XI
FIGURE 6-3. PWP DEZVOLTAT ÎN NUCLEUL BARAJULUI ÎN SCENARIILE 1,2 ȘI 3 TIMP DE 9 ZILE (ALI A. ALDULAIMI, 2021).	XV
FIGURE 6-4. VARIANTA DE DEZVOLTARE A PWP ÎN NUCLEUL BARAJULUI.	XV
FIGURA 6-5. SCENARII DE DISTRIBUȚIE A PWP ÎN CORP LA SFÂRȘITUL UNEI ZILE DE DESECARE (ALI A. ALDULAIMI, 2021).	XVI
FIGURE 6-6. O VARIAȚIE A DISIPĂRII PWP ÎN NUCLEUL BARAJULUI.	XVII
FIGURE 6-7. SCENARII NALIZĂ CUPLATĂ TENSIUNE-PRESIUNE PORI.	XVIII
FIGURA 6-8. FORMA DEFORMATĂ DUPĂ CE REZERVORUL S-A DESECAT BRUSC ÎN TIMPUL UNEI ZILE.	XIX
FIGURA 6-9. VARIAȚIA PWP ÎN ANALIZA CUPLATĂ ȘI A INFILTRAȚIILOR.	XX
FIGURA 6-10. VARIAȚIA FACTORULUI DE SIGURANȚĂ PENTRU ANALIZA CUPLATĂ ȘI A INFILTRAȚIILOR ÎN SCENARIUL 1.	XXI
FIGURA 6-11. SUPRAFAȚA DE ALUNECARE ȘI FACTORUL DE SIGURANȚĂ PENTRU ANALIZA INFILTRAȚIILOR LA SCENARIUL 1.	XXI
FIGURA 6-12. SUPRAFAȚA DE ALUNECARE ȘI FACTORUL DE SIGURANȚĂ PENTRU ANALIZA CUPLATĂ LA SCENARIUL 1 (ALI A. ALDULAIMI, 2021).	XXI
FIGURA 6-13. FACTORUL DE SIGURANȚĂ PENTRU ANALIZA CUPLATĂ LA SCENARIUL 2.	XXII
FIGURA 6-14. SUPRAFAȚA DE ALUNECARE ȘI FACTORUL DE SIGURANȚĂ PENTRU ANALIZA INFILTRAȚIILOR LA SCENARIUL 2.	XXII
FIGURA 6-15. SUPRAFAȚA DE ALUNECARE ȘI FACTORUL DE SIGURANȚĂ PENTRU ANALIZA CUPLATĂ LA SCENARIUL 2 (ALI A. ALDULAIMI, 2021).	XXII
FIGURA 6-16. FACTORUL DE SIGURANȚĂ PENTRU ANALIZA CUPLATĂ LA SCENARIUL 3.	XXIII
FIGURA 6-17. SUPRAFAȚA DE ALUNECARE ȘI FACTORUL DE SIGURANȚĂ PENTRU ANALIZA INFILTRAȚIILOR LA SCENARIUL 3 (ALI A. ALDULAIMI, 2021).	XXIII
FIGURA 6-18. SUPRAFAȚA DE ALUNECARE ȘI FACTORUL DE SIGURANȚĂ PENTRU ANALIZA CUPLATĂ LA SCENARIUL 3 (ALI A. ALDULAIMI, 2021).	XXIII
FIGURA 6-19. FACTOR DE SIGURANȚĂ PENTRU CELE TREI SCENARII.	XXIV

ABSTRACT

MANAGEMENTUL SIGURANȚEI STRUCTURILOR DE PĂMÂNT ÎN CEEA CE PRIVEȘTE CONTROLUL INFILTRAȚIILOR

de
Al-Dulaimi Ali A. Ahmed

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII DIN BUCUREȘTI
2021

Domeniu de specializare:
Inginerie hidrotehnică

Coordonator:
Prof. Dr. Ing. Dan Stematiu

1 INTRODUCERE

1.1 Observații generale

Evoluția infiltrațiilor prin corpul și fundația unui baraj oferă informații de bază privind comportamentul structurii și posibilitățile de exploatare în siguranță a acesteia. În faza de exploatare, infiltrația prin corpul și fundația barajului presupusă de proiect servește ca o comparație cu valorile măsurate. Efectele hidrodinamice ale apei curgătoare pot distruge frecvent stabilitatea de filtrare a corpului sau a subsolului barajului și, astfel, pot pune în pericol siguranța structurii hidraulice și a funcționării acesteia. Conductele, ca sursă de defecțiuni, reprezintă

aproximativ 30% din cazurile raportate. După excluderea devărsării, este cea mai importantă cauză. Conductele, o scurgere concentrată cu caracter progresiv, se dezvoltă de obicei de-a lungul unui traseu prestabilit. În teză se aplică metoda numerică cea mai frecvent utilizată în prezent pentru soluționarea curgerii infiltrațiilor - metoda elementelor finite. Infiltrarea prin barajul studiat în cazul de față este modelată ca un flux în regim staționar cu o pânză freatică de suprafață liberă. Deși inițierea eroziunii interne de-a lungul unui traseu de curgere tipic orizontal este, în mod cert, dificil de evaluat, analizele infiltrației pot furniza informații utile în ceea ce privește gradientii potențiali de-a lungul traseului de infiltrare. Cu SEEP/W, capetele piezometrice sau gradientii pot fi primiți de la fiecare nod sau factor din ochiul de plasă cu aspect finit, ceea ce permite unui analist să vizualizeze gradientii estimați într-un anumit punct al terasamentului sau al bazei modelate. Din cauza dificultăților asociate cu realizarea unei cerințe pozitive de separare, au fost utilizate diferite strategii de control al infiltrațiilor în combinație cu separările. Ca o alternativă, păturile impermeabile pot fi poziționate în amonte de baraje pentru a extinde calea în direcția de curgere a infiltrațiilor. Acest lucru are ca impact scăderea gradientilor hidraulici și a volumului de infiltrare la componenta din aval a barajului. Această prelungire a traseului de infiltrare scade gradientul hidraulic și, astfel, reduce debitele de infiltrare. Teza va trata, succesiv, modelul numeric, calibrarea modelului, diferențele reale dintre abordarea în regim staționar și cea tranzitorie, precum și tehnicile de inginerie pentru a asigura siguranța necesară. Studiul de caz va fi barajul Chamerga, aflat în construcție în Kurdistan. Condițiile speciale de fundație asociate cu permeabilitatea ridicată și neomogenitățile pot induce gradienti mari și este necesară o analiză detaliată pentru a stabili siguranța finală a barajului.

1.2 Obiectivele tezei

Scopul tezei a fost de a sublinia influența componentelor barajului asupra controlului infiltrațiilor și efectele acestora asupra reducerii probabilității de pierdere a stabilității versanților în condiții de scădere a nivelului apei. Obiectivele sunt rezumate după cum urmează:

- Studiul efectului nucleului impermeabil al barajului de pământ, central sau înclinat, asupra debitului de infiltrație înainte și după condițiile de scădere.
- Studiul efectului dezvoltării presiunii apei din pori în condițiile de umplere.
- Studiul efectului disipării presiunii apei din pori în condiții de desecare.
- Studiul factorului de siguranță numai cu analiza infiltrațiilor și cu analiza cuplurilor.
- Studiul influenței fluxului intern de apă asupra câmpului de deformare și a variației de volum a barajelor de pământ.

1.3 Structura tezei

Această teză este împărțită în șapte capitole.

Capitolul unu prezintă observațiile generale privind subiectul tezei, obiectivele tezei, stadiul actual al problemei pe baza analizei literaturii, o structură a tezei.

Se prezintă contextul tipului, cerinței de bază, caracterizărilor, secțiunii transversale și materialului barajului de pământ. Acest capitol prezintă, de asemenea, avantajele și dezavantajele nucleului impermeabil central și ale nucleului impermeabil înclinat pentru barajul de pământ.

Capitolul doi prezintă barajele de pământ - tipuri de baraje de pământ, avantajele și dezavantajele digurilor cu umplutură de pământ, cerințele de bază, zonarea, proprietățile materialelor, proiectarea filtrelor și caracterizarea barajelor de pământ.

Capitolul trei reprezintă analiza statică a barajelor de pământ și tipul acestor analize și descrie analizele infiltrațiilor și a stabilității folosind metoda elementelor finite (FEM). Acest capitol prezintă teoria de bază și ecuațiile utilizate pentru analiza infiltrațiilor prin baraj și controlul infiltrațiilor în terasament și în fundația barajului de pământ, precum și ecuațiile analizei de stabilitate a barajului. De asemenea, se descrie metoda utilizată pentru estimarea factorului de siguranță împotriva alunecării.

Capitolul patru prezintă contextul și importanța eroziunii interne pentru siguranța barajului și descrierea parcursului de cedare, care sunt fazele eroziunii interne, mecanica eroziunii, continuarea și acțiunea de filtrare, progresia și ruperea. A doua parte a acestui capitol a reprezentat istoricul de caz al eșecurilor și incidente pentru eroziunea prin scurgere concentrată, eroziunea regresivă, eroziunea regresivă globală, eroziunea de contact și sufuziunea.

Capitolele cinci și șase includ principala contribuție a autorului. Studiul de caz este dedicat barajului de pământ Chamerga, aflat în construcție în Irak. Sunt propuse mai multe alternative privind impermeabilizarea corpului barajului și a fundației acestuia. Prin simulare numerică, efectul acestora este analizat cu ajutorul software-ului GeoStudio. Comparația se face în diferite situații de analiză în regim staționar și de analiză tranzitorie “stadiul de umplere și starea de desecare” în ceea ce privește înălțimea hidraulică totală, presiunea apei din pori și gradientul de ieșire; de asemenea, a fost reprezentat factorul de siguranță pe fața amonte doar în analiza infiltrației și o analiză cuplată care înseamnă variația incrementală a presiunilor apei din pori din

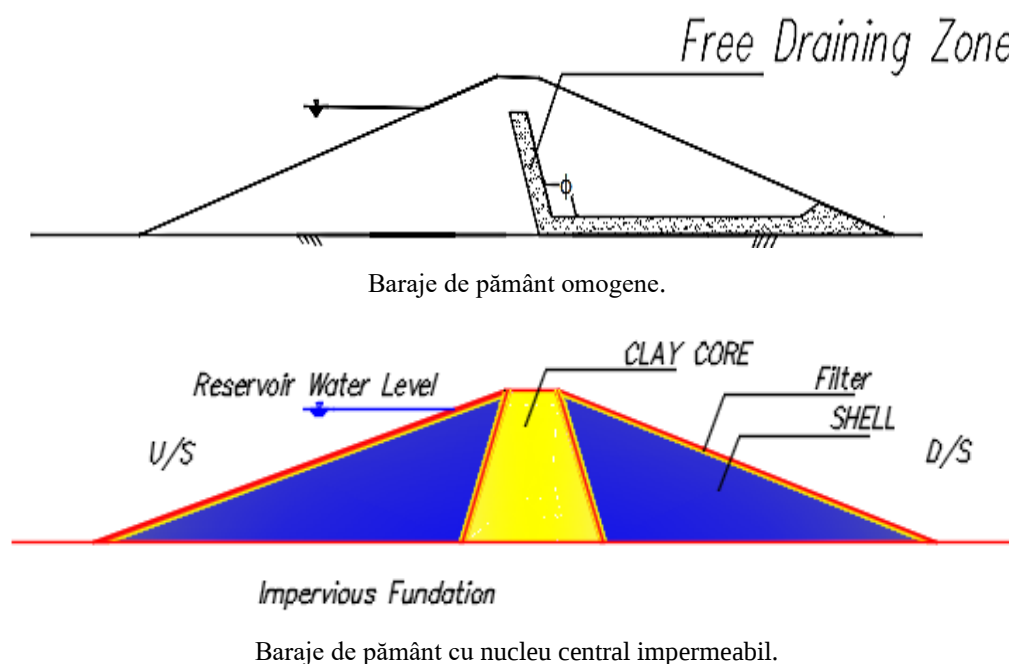
soluțiile de infiltrație sunt utilizate la fiecare pas de încărcare în calculul tensiune-deformare pentru a determina variația tensiunilor efective în analiza cuplată.

Rezultatele și explicațiile sunt prezentate în **capitolul șase**. Analiza infiltrațiilor se face în regim staționar, iar teoria analizei garniturilor include estimarea fluxului de apă, a gradientului de ieșire și a influenței filtrului din amonte asupra protecției versantului din amonte împotriva eroziunii. Analiză cuplată tensiune- presiune pori. În acest caz, analiza infiltrațiilor este rezolvată independent de modificarea volumului. (Ali A. Aldulaimi, 2021). Se efectuează, de asemenea, o analiză a stabilității, inclusiv o analiză a deformării și calcularea factorului de siguranță în amonte împotriva alunecării.

Capitolul **șapte** este capitolul final al tezei și include concluziile și recomandările pentru continuarea cercetărilor pe această temă. Referințele bibliografice sunt prezentate la sfârșitul tezei de doctorat.

2 BARAJE DE PĂMÂNT

Acest capitol prezintă succesiv avantajele și dezavantajele unui baraj de pământ și tipurile de baraje de pământ - baraje de pământ omogene, baraje de pământ cu nucleu impermeabil central, baraje de pământ cu nucleu impermeabil înclinat, baraje de pământ cu nucleu impermeabil înclinat.



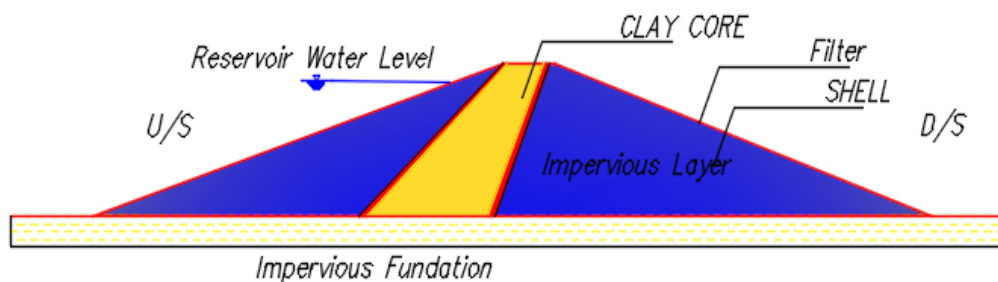


Figura 2-1. Schema unui baraj de pământ cu nucleu impermeabil înclinat

În acest capitol sunt subliniate caracteristicile și dezavantajele fiecărui tip de baraj.

3 ANALIZA STATICĂ A BARAJEOR DE PĂMÂNT

3.1 Analiza infiltrațiilor

Analiza infiltrațiilor este un aspect necesar al ingineriei geotehnice. În general, problemele liniare, cum ar fi predicția așezărilor și a deformațiilor, calculul porțiunilor de alunecare datorate infiltrațiilor regulate și tranzitorii, sunt toate extrem de ușor de rezolvat cu ajutorul elementelor finite. Utilizarea analizei cu elemente finite a echilibrului pantei și a infiltrațiilor a câștigat popularitate în ultimii ani datorită funcționalității sale de a face față problemelor complexe

3.2 Controlul infiltrațiilor în terasamente

Toate barajele de pământ și de stâncă reprezintă o provocare pentru infiltrarea prin terasament, fundație și piloni. Manipularea infiltrării este esențială pentru a preveni presiunile de ridicare excesive, instabilitatea versantului din aval, formarea de conducte prin terasament și/sau fundație, precum și eroziunea structurii prin migrarea în rosturile deschise din fundație și piloni. Cauza proiectului, de exemplu, depozitare pe termen lung, controlul inundațiilor etc., poate impune obstacole suplimentare în ceea ce privește volumul admisibil de infiltrare (U.S. Army Corps Engineers, 1993). Trei tehnici de control al infiltrațiilor în terasamente sunt următoarele:

- Pante plane fără drenaje.
- Zonarea terasamentelor.
- Drenuri verticale (sau înclinate) și orizontale..

3.3 Controlul infiltrațiilor în fundațiile de pământ

Toate barajele cu fundații de pământ sunt supuse la infiltrații subterane. Controlul infiltrațiilor în fundațiile de pământ este necesar pentru a preveni presiunile de ridicare excesive și conductele prin fundație.

3.4 Analiza stabilității

Analizele structurale au două scopuri în proiectarea barajelor de pământ: în primul rând, pentru a se asigura că barajul va fi stabil în timpul construcției, în condiții normale de funcționare și în condiții posibile de încărcare în caz de cutremur; și în al doilea rând, pentru a se asigura că deformările în timpul construcției, al funcționării normale sau al cutremurelor nu vor fi excesive (Ali A. Aldulaimi, 2021). Aceste funcții sunt strâns legate între ele, deoarece instabilitatea se manifestă în mod inevitabil sub forma unor deformații mari. Stabilitatea trebuie să fie examinată în condițiile (i) Exploatare normală - infiltrații constante și (ii) scădere rapidă - panta din amonte.

3.5 Analize cuplate și de consolidare

3.5.1 Analiza complet cuplată tensiune - infiltrație

Analizele care cuplează fenomenul de infiltrație și tensiune din sol pot fi clasificate în diferite moduri, în funcție de cuplare. Cel mai simplu mod este de a obține distribuția presiunii apei din pori prin efectuarea în prealabil a analizei de infiltrare și de a o reflecta în ecuația relației tensiune totală/tensiune efectivă realizată în etapa următoare. O astfel de analiză se numește analiză secvențială (Martinez, 2018)

3.5.2 Consolidare

Analiza de consolidare pornește de la ipoteza că presiunea apei din pori poate fi menținută în regim staționar și este utilizată pentru a vedea modificările presiunii excesive a apei din pori (Martinez, 2018). În alți termeni, această analiză simulează modul în care presiunea excesului de apă poroasă se modifică în funcție de modificările condițiilor de încărcare/limitare.

Analiza complet cuplată tensiune-infiltrație nu respectă ipoteza că presiunea apei din pori în regim staționar este păstrată. Prin urmare, este potrivită pentru simularea fenomenului de infiltrare tranzitorie, analiza tensiunilor și stabilitatea în condiții neobișnuite într-o formă complet cuplată. Spre deosebire de analiza de consolidare, este posibil să se definească modificările condițiilor limită de infiltrare în funcție de timp, de debitul limită etc. În alți termeni, pentru analiza complet cuplată tensiune-infiltrație, este posibilă utilizarea tuturor condițiilor limită de infiltrare tranzitorii, a sarcinii structurale și a condițiilor limită (Martinez, 2018).

4 EROZIUNE INTERNĂ

Eroziunea internă are loc atunci când particulele de sol din interiorul unui baraj de pământ sau din fundația acestuia sunt antrenate în aval de fluxul de infiltrație. (Ramos-Rivera, 2016)

4.1 Importanța eroziunii interne pentru siguranța barajului

Eroziunea internă este o problemă esențială de siguranță pentru barajele, digurile și stăvilarele mari și mici, după cum arată statisticile privind cedările și incidentele istorice. (Ramos-Rivera, 2016). Statisticile privind incidentele legate de barajele de pământ arată că eroziunea internă este o cauză majoră a incidentelor și a cedărilor în cazul barajelor mai vechi, într-o măsură mai mică. Incidentele includ infiltrații și scurgeri noi sau mai mari, doline și accelerarea tasării barajului.

4.2 Descrierea parcursului cedării

Cedările și incidentele prin eroziune internă ale barajelor de dig și ale fundațiilor acestora sunt clasificate în trei moduri generale de cedare, după cum urmează:

- Eroziune internă prin dig, cum ar fi conductele asociate cu lucrările de evacuare, pereții deversorului sau adiacente unei structuri gravitaționale din beton care susține digul;
- Eroziune internă prin fundație (Fell & Fry, 2007).
- Eroziunea internă a terasamentului în sau la fundație. Inclusiv:
 - a. infiltrarea prin materialul de eroziune a terasamentului prin terasament în fundație,
 - b. infiltrarea în fundație la contactul cu terasamentul care erodează materialul din terasament.

Există patru faze ale procesului de eroziune internă, aceste faze fiind: inițierea eroziunii, continuarea eroziunii, progresia până la formarea unei conducte sau, ocazional, provocarea instabilității suprafeței (sloughing) și inițierea unei breșe.

Prima condiție pentru ca eroziunea internă să apară este desprinderea particulelor. Apa care se infiltrează prin baraj sau curge prin fisuri trebuie să furnizeze suficientă energie pentru a desprinde particulele din structura solului.

În inițierea eroziunii au loc patru mecanisme, acestea sunt: - Eroziunea internă: 1) Scurgeri concentrate, 2) Eroziunea regresivă, 3) Eroziunea de contact, 4) Sufuzarea.

Eroziunea, odată inițiată, va continua dacă forțele de eroziune nu sunt reduse sau dacă trecerea particulelor erodate nu este împiedicată în vreun fel. Progresia este faza de eroziune internă în care:

- a. În cazul eroziunii în cazul scurgerilor concentrate, eroziunea în fisură sau scurgerea concentrată duce la dezvoltarea unei conducte.
- b. Pentru eroziunea regresivă, procesul de eroziune se extinde în amonte de la punctul de inițiere. O rețea de mici canale de eroziune se formează sub sol sau sub terasament, asigurând acoperișul conductelor de eroziune.
- c. Pentru eroziunea de contact, eroziunea solului mai fin în solul mai grosier continuă. Acest lucru poate duce la dezvoltarea unei conducte în solul mai fin.
- d. Pentru sufuziune, o parte din fracțiunea mai fină este erodată, lăsând matricea grosieră a solului. Nu se formează nicio conductă, dar permeabilitatea solului poate fi crescută semnificativ.

Formarea breșei are loc atunci când întregul proces de eroziune internă s-a încheiat, iar detectarea și intervenția au eșuat. Barajul poate fi rupt de unul dintre cele cinci mecanisme enumerate mai jos, în timp ce procesul de eroziune internă se va stabiliza.

5 STUDIU DE CAZ

5.1 Barajul Chamrga

Barajul Chamrga este un baraj de pământ situat în nordul Irakului, pe râul sezonier Chamrga, cu o lungime totală de 257 m, cu o capacitate maximă de stocare de 1.620.000 m³ și o înălțime de aproximativ 17,5 metri, cu o înălțime a crestei de 658 m.s.n.m. Lățimea de creastă este de 6 m, iar pantele sunt de 2% atât spre amonte, cât și spre aval. Creasta barajului este proiectată pentru a suporta traficul normal de autovehicule. Fața amonte a barajului are o pantă de 1:2,5, așa cum se arată în figura 5.1. Panta superioară din aval a barajului are o pantă de 1:2, cu o bermă de 4 metri. În timp ce în partea inferioară, panta aval va fi aplatizată la 1:2,5. Solul de fundație al amplasamentului barajului, în general, cuprinde formațiunea Bakhtiari superioară. Acesta constă într-un amestec de nisip și pietriș cu unele finețuri (Ali A. Aldulaimi, 2021). În amonte de soclul de beton se va realiza un batardou cu o înălțime de creastă la 648 m asl. Lățimea crestei este de 4 m. Pantele fronturilor amonte și aval sunt de 1:2,75. Corpul batardoului va fi construit din sol argilos nămolos în timpul ridicării barajului.

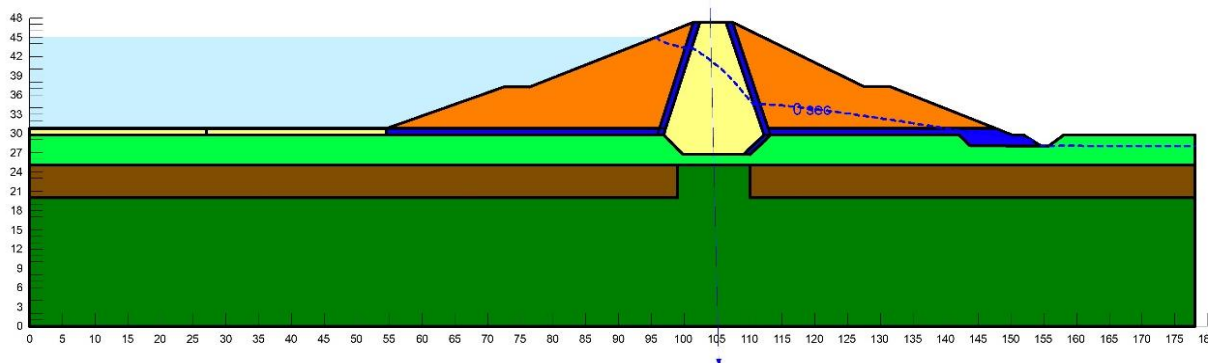


Figura 5-1. Proiectarea efectivă a barajului Chamrga (Ali A. Aldulaimi, 2021).

Proprietățile materialelor folosite la construcția barajului pot fi sintetizate în tabelul 5.1..

Tabel 5.1 Proprietățile materialelor barajului Chamrga

Nr.	Material	Cod culoare	k (m/s)	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
1	Umplerea corpului barajului		2. exp-05	19	15	38
2	Strat de drenaj		5. exp-04	17	0	33
4	Sedimente		1. exp-04	21	5	39
5	Strat de argilă		1. exp-06	23	20	40
6	Conglomerate		5. exp-05	21	5	40
7	Strat de argilă		1. exp-07	16	20	20

5.2 Simulare și modelare

Analiza numerică din această teză a fost realizată pe baza unor modele și simulări efectuate în programul informatic GeoStudio. GeoStudio are un software informatic utilizat pe scară largă pentru modelarea problemelor geotehnice și de științe ale pământului. SEEP/W, SIGMA/W și SLOPE/W, care sunt instrumente din cadrul GeoStudio, au fost utilizate pentru a analiza proiectul de construcție dat al terasamentului barajului în această cercetare (Ali A. Aldulaimi, 2021).

5.3 Modelul barajului și parametrii materialelor

Desenul Auto CAD al barajului Chamrga a fost tradus în GeoStudio. Au fost create regiuni, iar straturile de materiale au fost atribuite fiecărei regiuni în funcție de designul terasamentului. La începutul procesului de modelare, au fost utilizați ca date de intrare parametri de material simpli sau estimați. Acest lucru a fost în conformitate cu instrucțiunile din GeoStudio (GEO-SLOPE,

2012) iar scopul era de a verifica dacă modelele funcționau corect. Atunci când modelele au fost verificate în raport cu studii similare, parametrii exacți ai materialelor au fost înlocuiți pentru a rafina analiza. Parametrii materialelor utilizați în simulări vor fi prezentați în secțiunile SEEP/W, SIGMA/W și SLOPE/W. (Ali A. Aldulaimi, 2021).

5.4 Scenarii simulate

Trei scenarii au fost sugerate în această cercetare; aceste scenarii sunt ilustrate în figura următoare:

- Scenariul 1

În acest scenariu, situația actuală a reprezentat secțiunea transversală originală fără adăugiri cu un nucleu de argilă. A fost utilizată o pătură de argilă pe o lungime de 55 m în rezervorul din amonte, așa cum se arată în figura 5.1. Nivelul maxim al apei în amonte ($h=15,5$ m) la cota 655,5 MASL și în aval ($h=0$) la cota 640,00 MASL, nodurile din partea inferioară și laterală a fundației barajului pentru fiecare model sunt considerate cu condiția de flux zero (Ali A. Aldulaimi, 2021).

- Scenariul 2

În acest scenariu, pentru a obține o tăiere eficientă, poziția sa trebuie să fie înlocuită în amonte de cofferdam, unde stratul de argilă cu o grosime de până la 5 m este continuu de la stânga la dreapta. Noul cutoff va fi realizat din beton bentonit și va fi extins în fundație până la stratul de argilă. Materialul nucleului se va întinde pe o adâncime de numai 2,5 m metri pentru a nu interfera cu apele subterane și cu pătura de argilă din amonte conectată la sistemul de etanșare a barajului (caroiaj de argilă), așa cum se arată în figura 5.2.

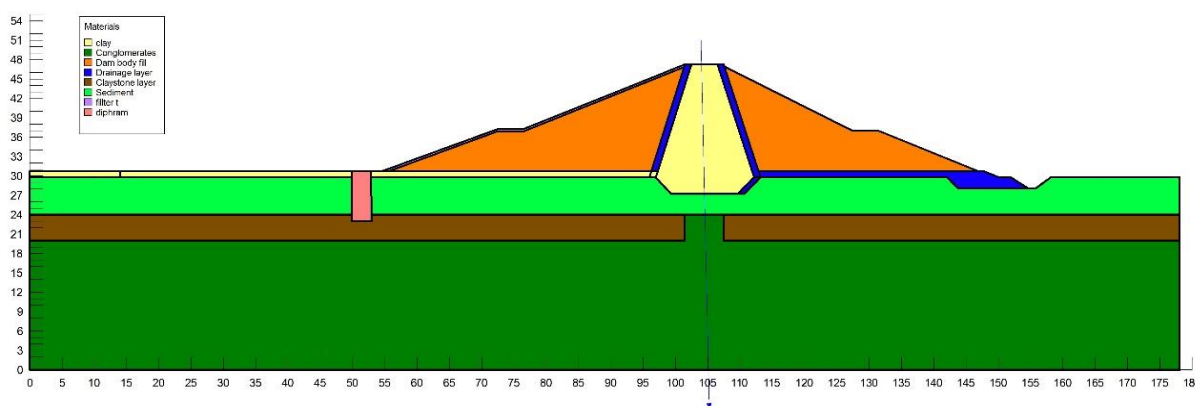


Figura 5-2. Scenariul 2, (Ali A. Aldulaimi, 2021).

- **Scenariul 3**

Sugerăm aplicarea unui nucleu înclinat și a păturii de argilă din amonte conectată la sistemul de etanșare a barajului (nucleu de argilă) se extinde în rezervorul din amonte, așa cum se arată în figura 5.3. Fiecare scenariu a fost simulat și analizat pentru diferite condiții de operare. Stadiul normal de umplere și de scădere a debitului (Ali A. Aldulaimi, 2021).

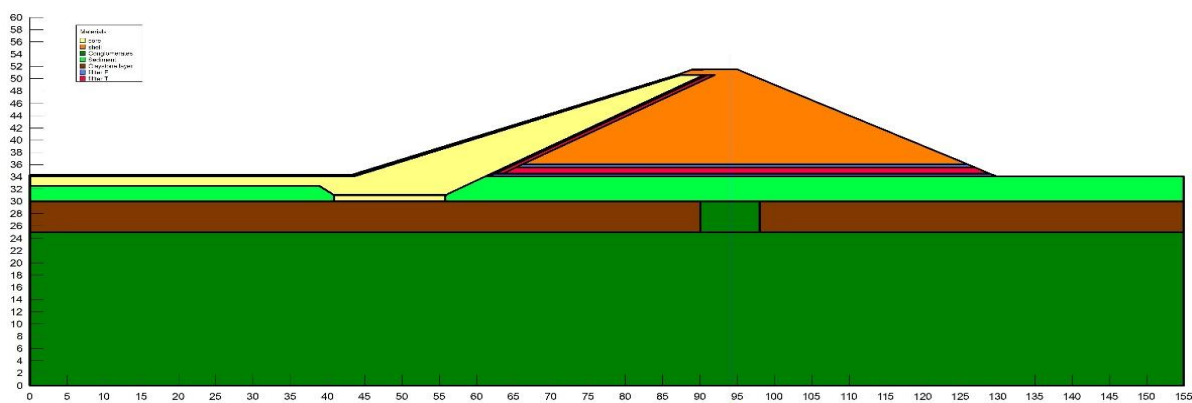


Figura 5-3. Scenariul 3, (Ali A. Aldulaimi, 2021).

5.5 Analiza infiltrațiilor

- **Scop**

S-au efectuat simulări în SEEP/W pentru a localiza suprafața freatică, pentru a determina distribuția și penetrarea apei poroase și pentru a obține viteza și direcția de infiltrare în scenariile de baraj în condiții (normale, în stadiul de umplere și de desecare). Deoarece controlul infiltrațiilor este crucial pentru un dig stabil și sigur, analiza infiltrațiilor poate furniza informații și date pentru analiza ulterioară a stabilității în SLOPE/W (GEO-SLOPE, 2012).

- **Date de intrare și condiții limită**

Calcululele de infiltrare s-au bazat pe ecuațiile de infiltrare a solului saturat/nesaturat și staționar/instaurat cu metoda elementelor finite cu grilă fixă. Proprietățile ochiurilor de plasă au fost setate la 2640 de noduri și 2536 de elemente cu o dimensiune globală aproximativă a elementului de 2 metri. Condiția inițială la limită pentru analiza infiltrațiilor în regim staționar este că nivelul apei în versantul din amonte este de aproximativ 45 m. Condiția la limită de pe fața versantului aval nu este indicată, deoarece presiunea apei poroase depinde de locația freaticului de la suprafață; astfel, condiția la limită de pe suprafața versantului aval este o suprafață potențială de infiltrare. Condițiile la limită pentru analiza tranzitorie a infiltrațiilor sunt variabilele nivel de apă în funcție de timp.

A. Analiza în regim staționar și tranzitorie

Au fost efectuate analize de infiltrare în regim staționar pentru scenariile 1, 2 și 3. Simularea a început cu o analiză în regim staționar în condiții normale pentru a obține un proces definit de infiltrare în regim staționar prin terasament. Ea a continuat cu o analiză tranzitorie în condiții de umplere și de desecare pentru a obține cunoștințe despre modul în care procesul de infiltrare migrează în timp..

B. Analiza tranzitorie simulează infiltrarea.

Am analizat scenariile 1, 2 și 3 în două condiții.

- 1- Condițiile etapei de umplere pe parcursul a nouă zile (9 zile).
- 2- Condiția de stadiu de golire pe parcursul unei zile (1 zi)..

5.6 Analize tensiune-deformație

- Scop

Se efectuează simulări în SIGMA/W pentru a analiza tensiunile și deformațiile rezultate în scenariile de baraj în condiții de umplere și desecare..

- Date de intrare și condiții limită

Sarcina și deformarea în terasamentul barajului au fost simulate folosind modelele de materiale hiperbolice elastice liniare și neliniare.

Condițiile limită au fost specificate cu o deplasare x cu valoare zero de-a lungul marginilor de frontieră din stânga și din dreapta și o deplasare x/y cu valoare zero de-a lungul marginii de frontieră de la bază. S-au aplicat presiuni hidrostatice ca o condiție limită de stres (GEO-SLOPE International, 2009.).

5.7 Analiza stabilității

- Scop

Au fost efectuate simulări în SLOPE/W pentru a găsi suprafețele de alunecare potențiale și factorul de siguranță minim pentru scenariile barajului în condiții normale, de umplere și de scădere a nivelului de apă.

- Date de intrare

Modelul Mohr-Coulomb a fost aplicat tuturor straturilor de material din baraj. Modelul Mohr-Coulomb utilizează șapte parametri principali ai materialului. S-a presupus că raportul Poisson

pentru diferitele materiale are aceleași valori ca în proiectul barajului de la Chamrga. Datele Morgenstern-Price din simularea în SEEP/W sunt utilizate ca analiză de bază. Parametrii materialelor utilizate în modelul de baraj simulat sunt prezentați în tabelul 5.1.

6 REZULTATE SI ANALIZA

Rezultatele simulărilor sunt prezentate în funcție de diferitele simulări care au fost efectuate. Rezultatele sunt prezentate în aceeași ordine în care au fost efectuate, începând cu analiza de infiltrare în SEEP/W. Analiza de infiltrare a fost efectuată pentru a furniza date pentru analiza de încărcare, deformare și analiza cuplată efectuată în SIGMA/W și, de asemenea, analiza este efectuată în SLOPE/W, deoarece utilizează date din SIGMA/W. Rezultatele pe care SIGMA/W și SLOPE/W le utilizează din SEEP/W sunt presiunea apei de purjare, viteza de infiltrare, conținutul volumetric de apă etc. (Ali A. Aldulaimi, 2021).

6.1 Analiza infiltrațiilor

6.1.1 Analiza în regim staționar

Fluxul de apă, viteza de infiltrare și rezultatele gradientului de ieșire pentru cele trei scenarii sunt prezentate în figurile 6.1 și 6.2. În aceste figuri, harta de contur calculată a distribuției PORE WATER PRESSURE “PWP” și linia de curgere prin barajul Chamrga la infiltrarea inițială în regim staționar arată că înălțimea totală din dreapta este mai mare decât înălțimea totală din stânga. Deferența de înălțime totală creează un flux de apă dinspre dreapta spre stânga.

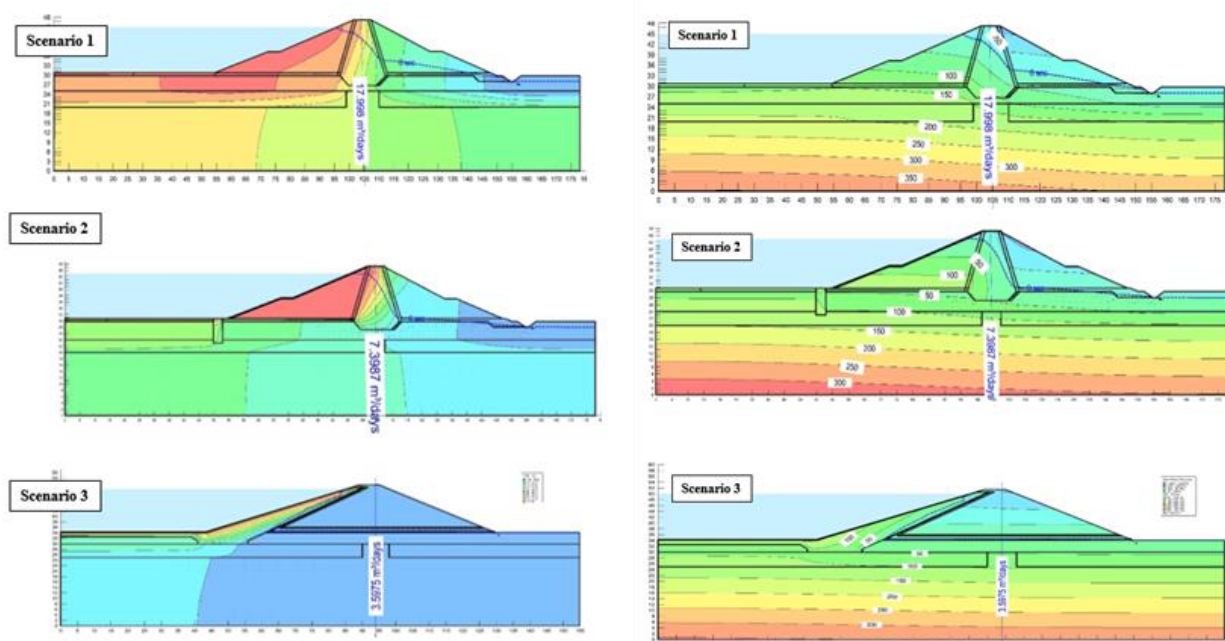


Figure 6-1. Total hydraulic head in the dam (Ali A. Aldulaimi, 2021).

Figure 6-2. scenarios 1,2,3: Pore-water pressure in the dam (Ali A. Aldulaimi, 2021).

Suprafața freatică este reprezentată de linia albastră groasă, linia iso în care presiunea apei din pori este zero. Presiunea apei din pori (PWP) este negativă deasupra suprafeței freatice și pozitivă sub aceasta. Rezultatele simulărilor pentru cele trei scenarii în regim staționar sunt rezumate în tabelul 6.1.

Tabel 6.1 Analiza infiltrației în regim staționar

No.	Scenarii	Condiții de lucru	Viteză max. infiltrație Vmax [m/s]	Flux total la centru Q [m3/s]	Gradient de ieșire Aval față de picior
1	Secțiunea transversal reală	Normal W. L	3.85×10^{-4}	2.08×10^{-4}	0.84
2	Diafragmă + pătură	Normal W. L	4.3×10^{-5}	8.56×10^{-5}	0.81
3	Nucleu înclinat	Normal W. L	2.65×10^{-5}	4.15×10^{-5}	0.005

6.1.2. Analiza tranzitorie

A. Stadiul de umplere în 9 zile

În timpul umplerii rezervorului, PWP în învelișul din amonte și în nucleu crește odată cu creșterea nivelului apei, așa cum se arată în figura 6.3, dar nu există aproape nicio schimbare în învelișul din aval. Deoarece conductivitățile nucleului sunt cu aproximativ patru ori mai mici decât cele ale învelișului, linia freatică iese prin spatele nucleului la un nivel foarte scăzut și prezintă puține modificări odată cu creșterea nivelului apei.

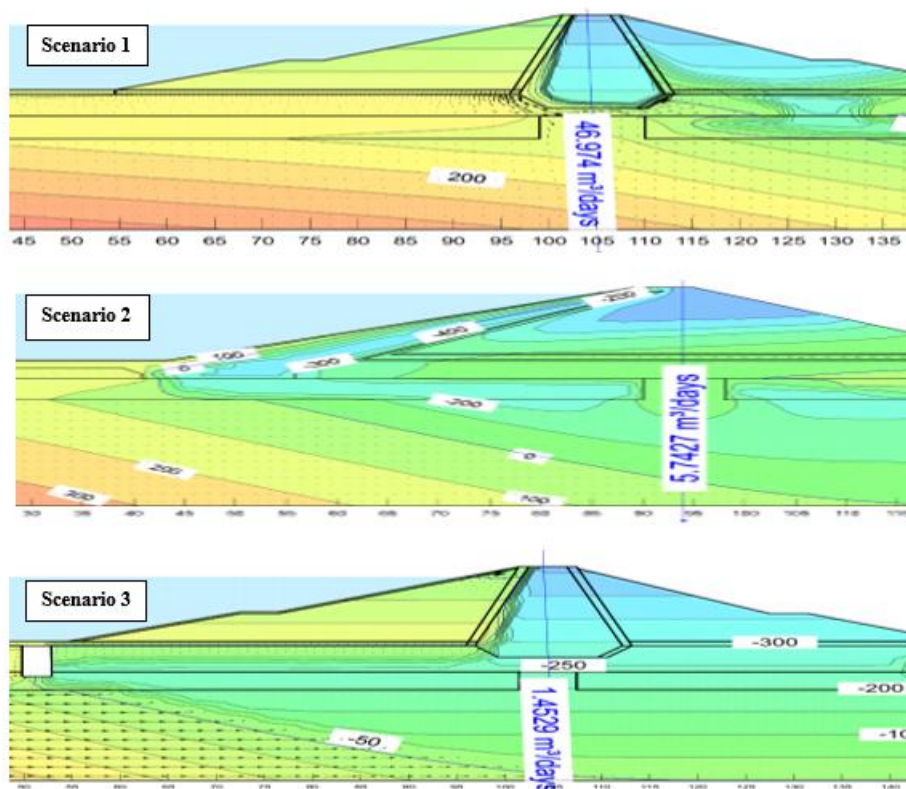


Figure 6-1. PWP dezvoltat în nucleul barajului în scenariile 1,2 și 3 timp de 9 zile (Ali A. Aldulaimi, 2021).

Distribuțiile presiunii apei interstițiale în baraj în cele trei scenarii 1, 2 și 3 sunt aproape identice atunci când nivelul apei din rezervor crește până la nivelul normal al apei.

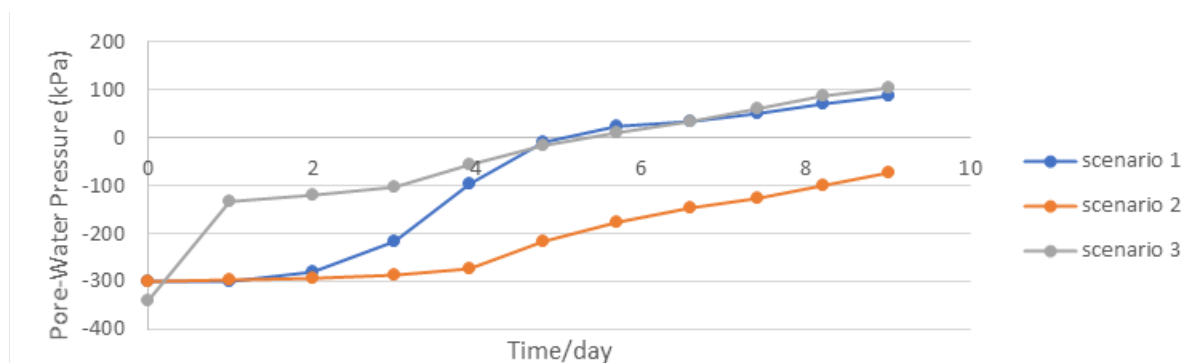


Figure 6-2. Varianta de dezvoltare a PWP în nucleul barajului.

Se poate concluziona că procesele de construcție și de umplere au un efect redus asupra distribuției finale a presiunii apei din pori în baraj, așa cum se arată în figura 6.4. (Ali A. Aldulaimi, 2021).

B. Desecarea într-o zi.

Mecanismul exact al acestei afecțiuni este următorul: Se presupune că rezervorul a fost umplut cu apă la un nivel ridicat pentru o perioadă de timp suficient de lungă, astfel încât materialul de

umplutură al barajului să fie complet saturat și să se stabilească o infiltrație constantă. Dacă rezervorul este redus rapid în acest stadiu, direcția de curgere se inversează, provocând instabilitate în panta din amonte a barajului de pământ. Condiția cea mai critică de reducere bruscă a debitului înseamnă că, în timp ce presiunea apei care acționează asupra versantului din amonte în “starea de rezervor plin este eliminată”, nu există nicio schimbare apreciabilă în conținutul de apă al solului saturat din interiorul barajului din cauza permeabilității scăzute. (Ali A. Aldulaimi, 2021). PWP în corpul barajului în timpul reducerii rapide a debitului pare să nu se schimbe foarte mult la toate nivelurile de reducere a debitului. Chiar și atunci când apa este aproape golită, PWP în corpul barajului este încă ridicată, deoarece linia freatică nu scade. Decalajul liniei freatice depinde de patru factori: coeficientul de permeabilitate al umpluturilor barajului, rata de scădere a nivelului de apă, volumul porilor activi și gradientul pantei din amonte. (Abadjiev, 1994) .

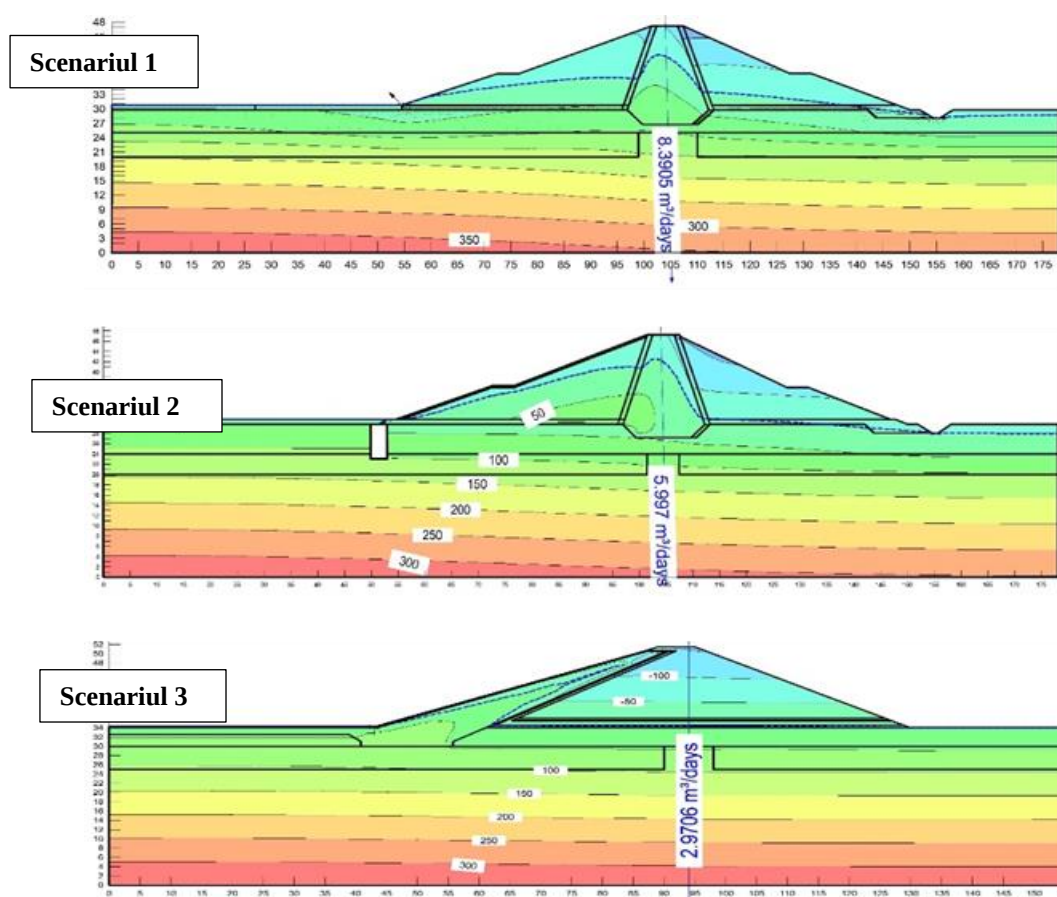


Figura 6-3. Scenarii de distribuție a PWP în corp la sfârșitul unei zile de desecare (Ali A. Aldulaimi, 2021).

Înainte de o scădere rapidă a nivelului apei, PWP-urile sunt ridicate la vârful pantei din amonte și scad odată cu înălțimea până când se situează sub valoarea zero pentru acele puncte care se află deasupra liniei piezometrice. După desecarea apei, PWP-urile sunt foarte scăzute la piciorul

terasamentului și apoi cresc ca urmare a inițierii disipării apei din pori din terasament și apoi scad pe măsură ce crește cota, așa cum se prezintă în figura 6.5., 6.6.

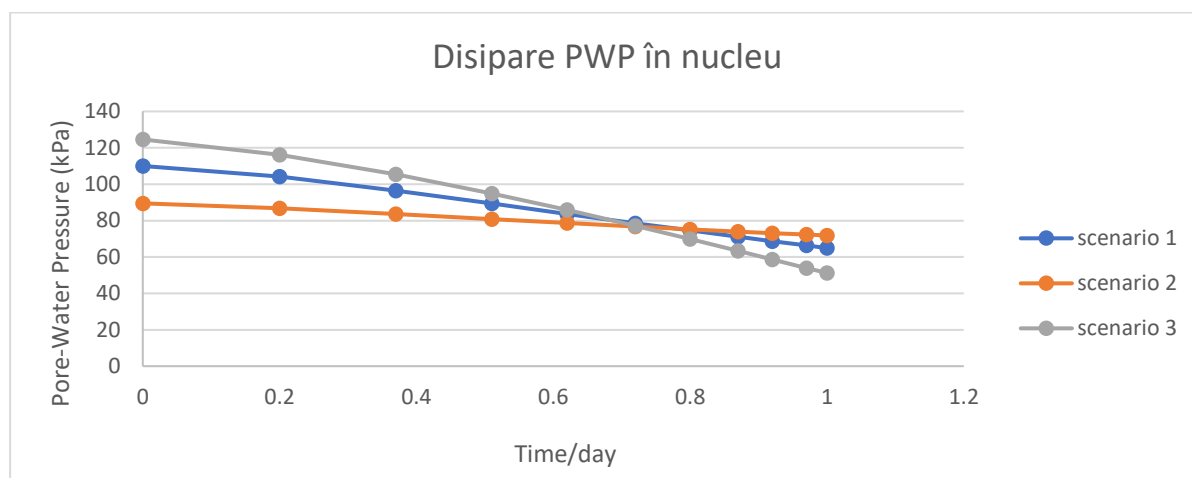


Figure 6-4. O variație a disipării PWP în nucleul barajului.

Rezultatele simulărilor din analiza tranzitorie SEEP/W în timpul tragerii într-o zi sunt rezumate în tabelul 6.2. (Ali A. Aldulaimi, 2021).

Tabel 6.2 Desecarea într-o zi pentru cele trei scenarii

Nr.	Scenarii	Condiții de lucru	Viteză max. infiltrație V_{max} [m/s]	Flux total la centru Q [m ³ /s]	Gradient de ieșire Aval față de picior
1	Secțiunea transversal reală	Desecare /1 zi	2.93×10^{-4}	9.7×10^{-5}	1.9
2	Diafragmă + pătură	Desecare /1 zi	1.47×10^{-4}	6.93×10^{-5}	10.38
3	Nucleu înclinat	Desecare /1 zi	3×10^{-4}	8.88×10^{-5}	0.005

6.2 Analiza cuplată tensiune – presiune pori

În această analiză, analiza infiltrațiilor este rezolvată independent de analiza modificărilor de volum. Schimbările incrementale ale presiunilor de apă din pori din soluțiile de infiltrație sunt utilizate la fiecare pas de încărcare în calculul de tensiune-deformare pentru a determina schimbarea tensiunilor efective. În analiza cuplată, căutăm o schimbare în tensiunea totală, precum și schimbări în PWP, analiza infiltrației/evadare nu ia în considerare o schimbare în tensiunea totală. Rezultatul analizei de încărcare și deformare care a fost efectuată pentru

scenariile 1,2,3 este că cele trei scenarii au fost simulate în condiții de desecare într-o zi. După cum se arată în figuri, distribuția totală a tensiunii, tensiunea de forfecare și deplasarea totală în baraj, așa cum se arată în figura 6.7 (Ali A. Aldulaimi, 2021).

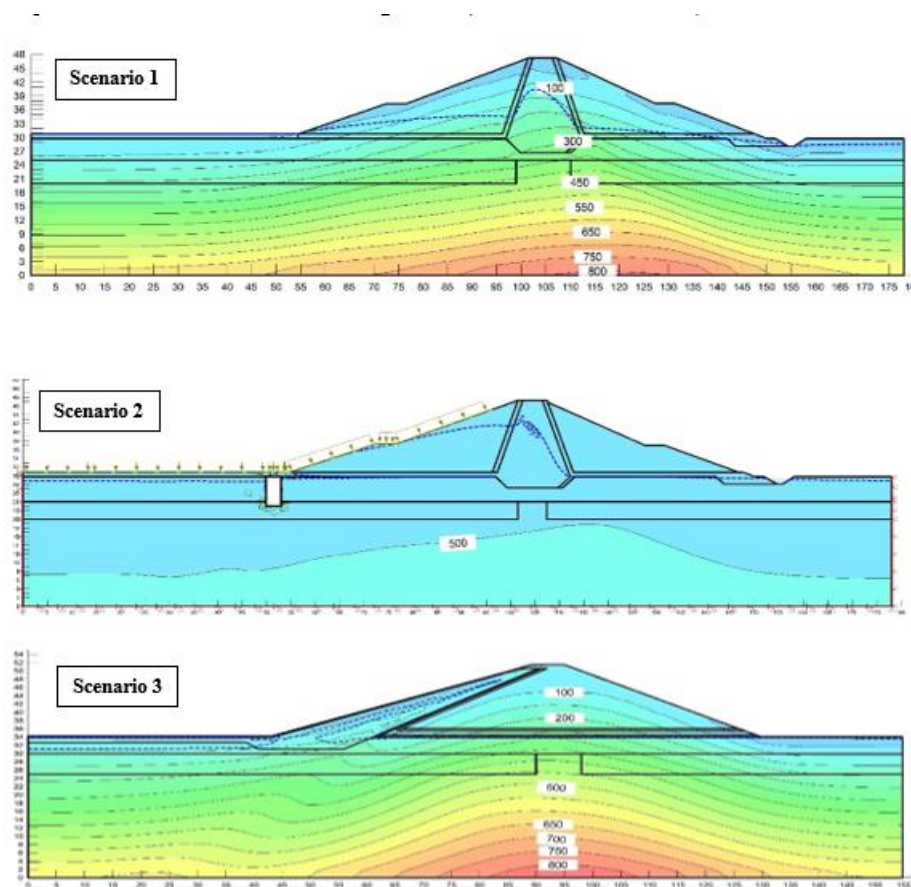


Figure 6-5. Scenarii analiză cuplată tensiune-presiune pori.

Tensiunea totală este cea mai mică în partea superioară a barajului (zero), apoi crește în mijlocul barajului, precum și atunci când cota barajului scade. Figura 6.8 prezintă mișcarea particulelor de sol și forma deformată după ce rezervorul este brusc desecat într-o zi, forța de infiltrare determină mișcarea particulelor de sol în direcția de curgere spre rezervor. Acest lucru determină o tasare la creasta barajului și o umflare a solului pe fața din amonte. Cea mai mare valoare a deplasării este concentrată în apropierea nivelului apei după desecarea acesteia, în timp ce aceasta scade treptat spre suprafața fundației, atât pe partea din amonte, cât și pe cea din aval.

Magnitudinea deplasării solului atinge nivelul maxim imediat ce procesul de scădere a nivelului apei este finalizat (Ali A. Aldulaimi, 2021).

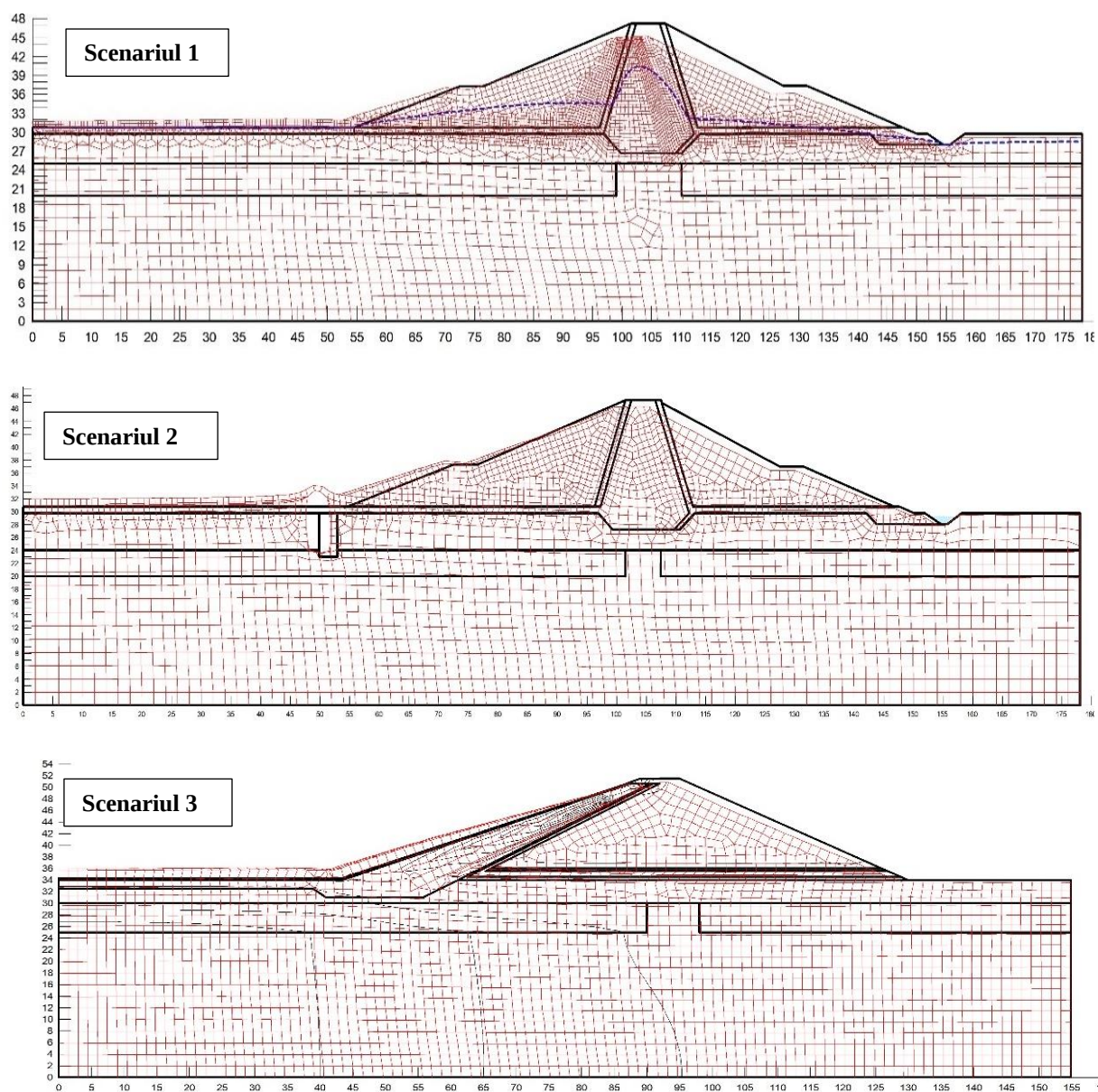


Figura 6-6. Forma deformată după ce rezervorul s-a desecat brusc în timpul unei zile.

- **Rezumat**

Rezultatele simulărilor în SIGMA/W sunt rezumate în tabelul 6.3.

Tabel 6.3 . tensiunea de forfecare maximă, tensiunea totală maximă și deplasarea scenariilor

Nr.	Scenarii	Condiții de lucru	Tensiune profecare max. [kPa]	Tensiune totală max. [kPa]	Deplasare totală max. [m]
1	Secțiunea transversal reală	Desecare /1 zi	51.21	810.95	0.485
2	Diafragmă + pătură	Desecare /1 zi	2.6	5.4	0.6114
3	Nucleu înclinat	Desecare /1 zi	60.26	837.57	0.474

Din analiza cuplată obținută, PWP este mai mică decât în cazul analizei infiltrației, după cum se arată în figură; din cauza eliminării greutății apei și a efectuării analizei cuplate, există tendința de a se produce o ușoară revenire a solului. Această tendință de revenire influențează răspunsul PWP, iar rezultatul este ușor mai mic în PWP, așa cum se arată în figura 6.9.

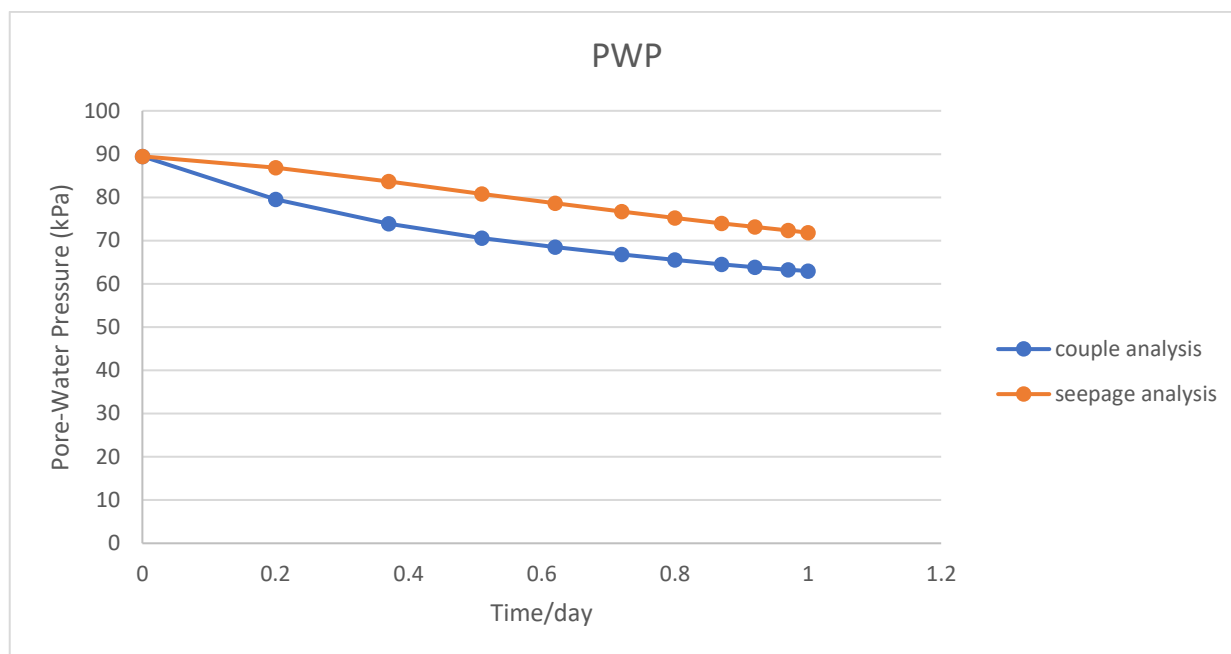


Figura 6-7. Variația PWP în analiza cuplată și a infiltrațiilor.

6.3 Analiza stabilității

Analiza echilibrului limită (tehnica slice) a stabilității pantei, care depinde de FEM, este utilizată pentru a evalua stabilitatea pantei barajului din amonte. Rezultatele pot fi obținute prin aplicarea tehnicilor (Morgenstern-price).

6.4 Factorul de siguranță

Factorul de siguranță scade treptat pe măsură ce apa din rezervor scade până când toată apa din rezervor este extrasă; apoi, factorul de siguranță crește pe măsură ce apa din pori se disipează din terasament, așa cum se prezintă în Fig. 22. Factorul minim de siguranță în timpul desecării lente scade peste valoarea de (1,0), ceea ce înseamnă că panta va fi în condiții de siguranță atunci când apa se va retrage din rezervor într-o zi. (Ali A. Aldulaimi, 2021).

A. **Scenariul 1:** calcularea factorului de siguranță prin utilizarea tehnicilor Morgenstern-price numai din analiza cuplată și analiza infiltrațiilor. Figurile 6.10-6.12 prezintă factorul de siguranță pentru diferite intervale de timp.

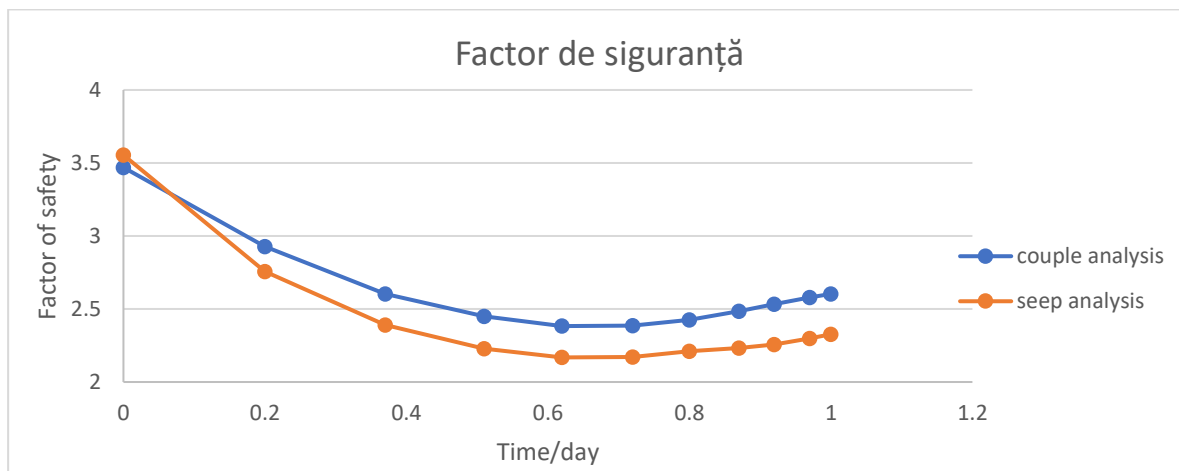


Figura 6-8. Variația factorului de siguranță pentru analiza cuplată și a infiltrațiilor în scenariul 1.

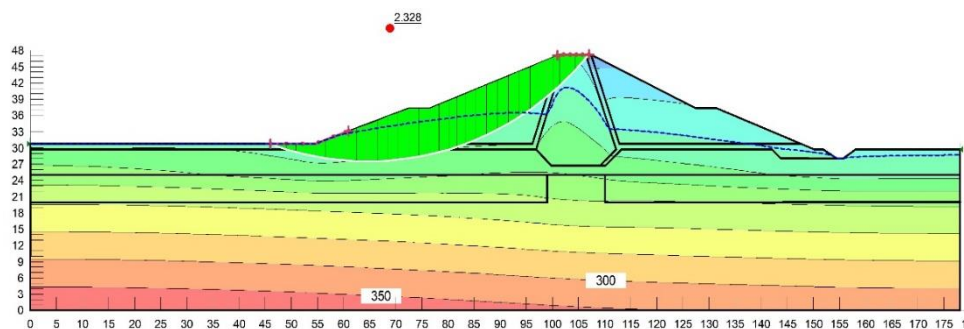


Figura 6-9. Suprafața de alunecare și factorul de siguranță pentru analiza infiltrațiilor la scenariul 1.

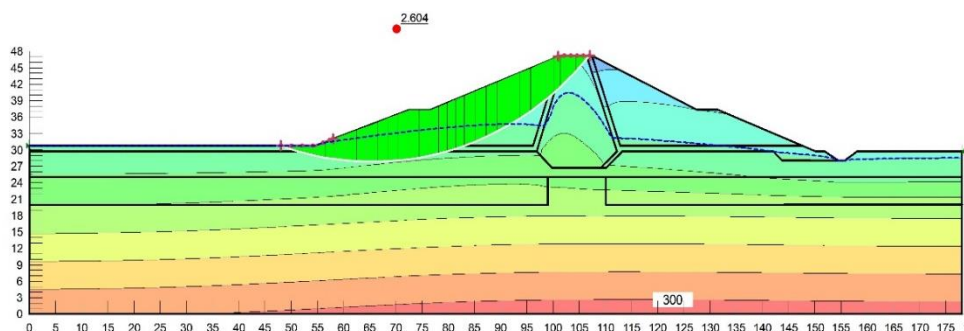


Figura 6-10. Suprafața de alunecare și factorul de siguranță pentru analiza cuplată la scenariul 1 (Ali A. Aldulaimi, 2021).

B. **Scenariul 2:** calcularea factorului de siguranță prin utilizarea tehnicilor Morgenstern-price din analiza cuplată și analiza infiltrațiilor. Figurile 6.13-6.15 prezintă factorul de siguranță pentru diferite intervale de timp.

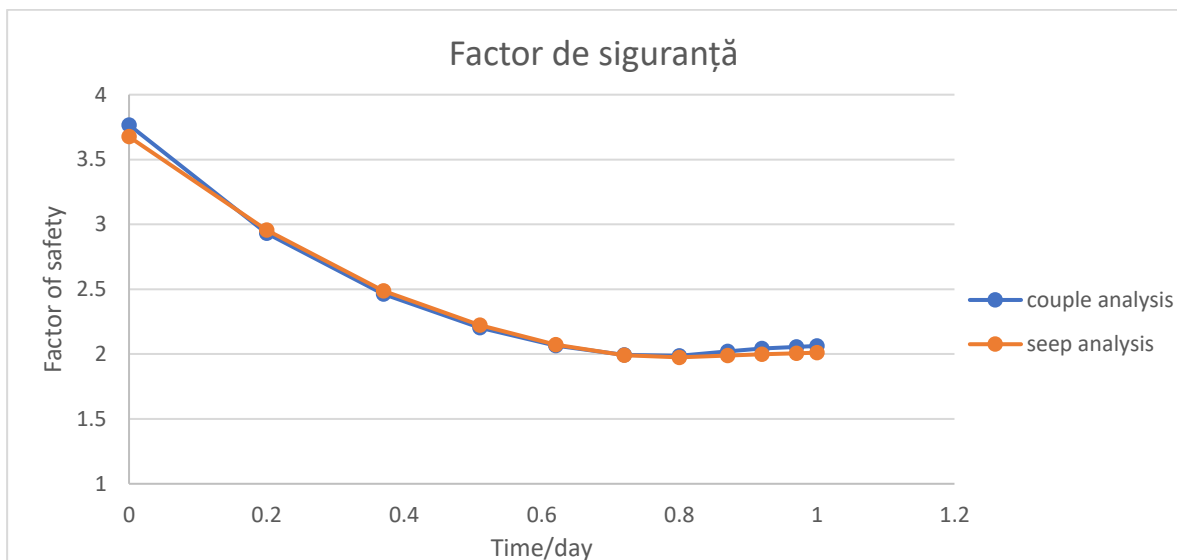


Figura 6-11. Factorul de siguranță pentru analiza cuplată la scenariul 2.

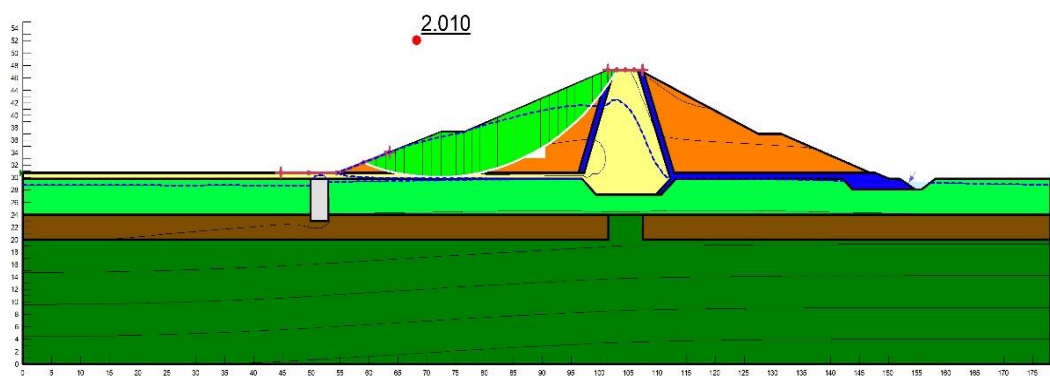


Figura 6-12. Suprafața de alunecare și factorul de siguranță pentru analiza infiltrațiilor la scenariul 2.

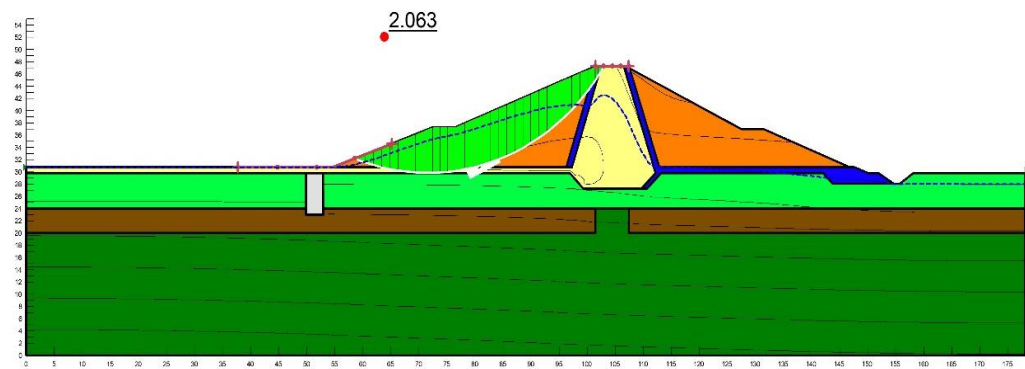


Figura 6-13. Suprafața de alunecare și factorul de siguranță pentru analiza cuplată la scenariul 2 (Ali A. Aldulaimi, 2021).

C. **Scenariul 3:** calcularea factorului de siguranță prin utilizarea tehnicilor Morgenstern-Price din analiza cuplată și analiza infiltrațiilor. Figurile 6.16-6.18 prezintă factorul de siguranță pentru diferite intervale de timp.

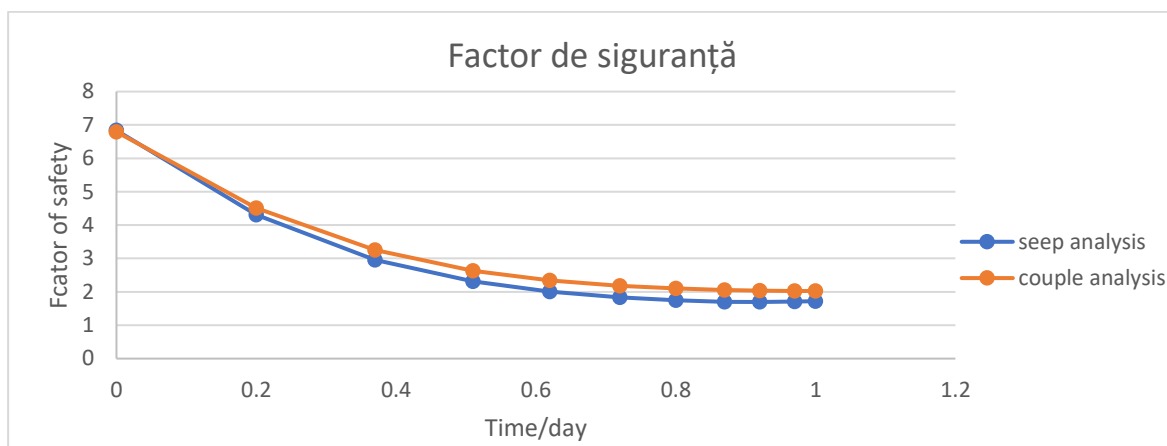


Figura 6-14. Factorul de siguranță pentru analiza cuplată la scenariul 3.

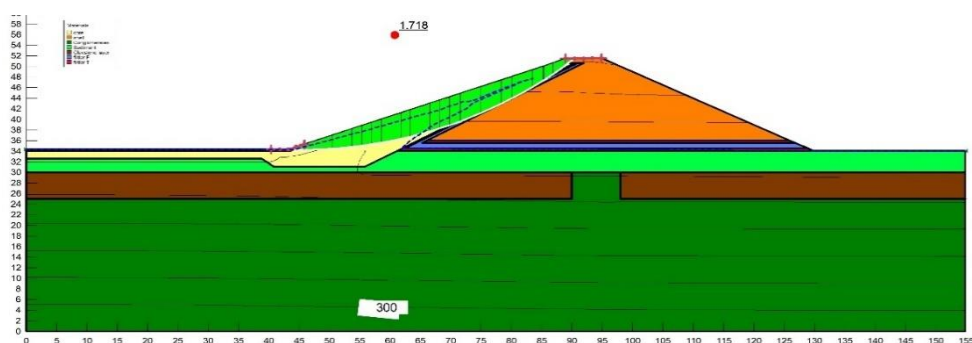


Figura 6-15. Suprafața de alunecare și factorul de siguranță pentru analiza infiltrațiilor la scenariul 3 (Ali A. Aldulaimi, 2021).

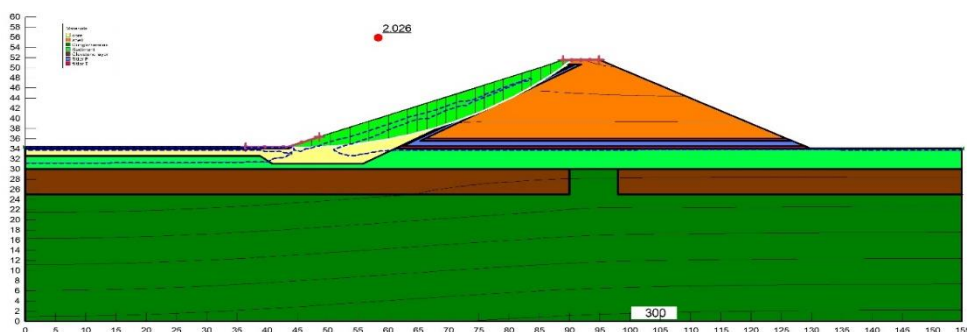


Figura 6-16. Suprafața de alunecare și factorul de siguranță pentru analiza cuplată la scenariul 3 (Ali A. Aldulaimi, 2021).

Factorul de siguranță rezultat prin utilizarea tehnicilor Morgenstern-price pentru trei scenarii privind analiza infiltrațiilor și analiza cuplată. După cum se arată în tabelul 4. și în figura 6.19.

Tabel 4 Factor de siguranță pentru cele trei scenarii

Scenarii	Condiții de lucru	F.S. doar din analiza infiltrațiilor	F.S. din analiza cuplată
Scenariul 1	Desecare 1 zi	2.286	2.594
Scenariul 2	Desecare 1 zi	2.073	2.244
Scenariul 3	Desecare 1 zi	2.109	2.24

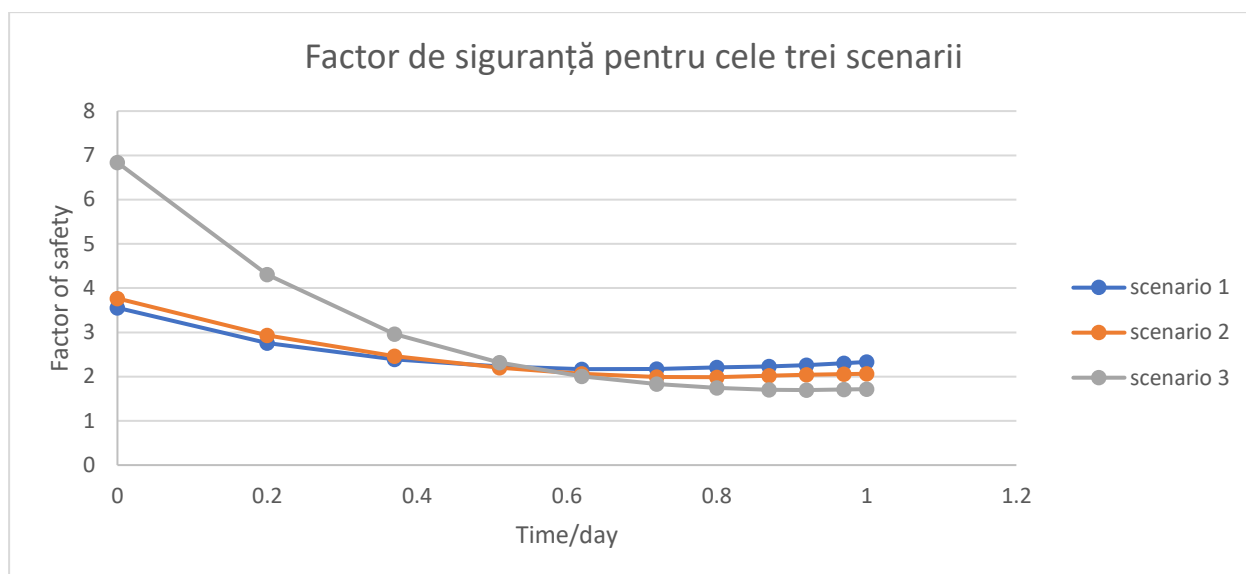


Figura 6-17.Factor de siguranță pentru cele trei scenarii.

7 CONCLUZIE ȘI RECOMANDARI

1. În urma analizei infiltrațiilor în condiții de regim staționar, scenariul 3 (nucleu înclinat) este scenariul optim pentru obținerea unui flux total de $2,65 \times 10^{-5}$ m/s, a unei viteze de infiltrație de $4,15 \times 10^{-5}$ m³/s și a unui gradient de ieșire în vârful avalului de 0,005 (Ali A. Aldulaimi, 2021).
2. În timpul etapei de umplere la nouă zile, PWP se dezvoltă rapid în nucleul barajului în scenariul 3, de la -350kpa la +100.
3. În timpul desecării, într-o zi, disiparea PWP în nucleul barajului în scenariul 3 (nucleu înclinat) este optimă, care variază de la 125 kpa la 50 kpa
4. În timpul analizei cuplată tensiune-presiune în pori obținută tensiunea maximă de forfecare 60,26 kpa, tensiunea totală maximă 837,57 kpa, iar deplasarea totală X.Y. de 0,474 este în scenariul 3 (nucleu înclinat)
5. În cuplu, analiza ia în considerare atât modificarea tensiunii totale, cât și modificarea PWP.
6. Factorul de siguranță împotriva alunecării taluzului barajului în timpul desecării rapide a apei scade în cadrul începutului desecării rapide a apei, apoi începe să crească. Acest lucru se datorează disipării în timp a excesului de PWP, ceea ce duce la o creștere a

tensiunilor efective din sol și, prin urmare, la creșterea rezistenței la forfecare a acestuia. (Ali A. Aldulaimi, 2021).

7. Atunci când rezervorul este desecat, presiunile apei din porii din baraj sunt reduse în două moduri: există un efect elastic imediat prin eliminarea apei din rezervor și o disipare lentă a PWP din corpul barajului prin drenaj.
8. În timpul desecării, factorul minim de siguranță se situează peste valoarea de (1,0) pentru trei scenarii, ceea ce înseamnă că taluzul din amonte va fi în condiții de siguranță în timpul secvențelor de desecare rapidă.
9. În timpul desecării lente, factorul de siguranță scade treptat pe măsură ce apa din rezervor scade până când toată apa din rezervor este extrasă; apoi, factorul de siguranță crește pe măsură ce apa poroasă se disipează din dig.
10. Pentru toate scenariile, factorul de siguranță obținut în urma a două analize: 1) analiza de infiltrare și 2) analiza de cuplare, care este FS. în analiza de cuplare este puțin mai mare decât în analiza de infiltrare.
11. Eroziunea internă se inițiază atunci când forțele hidraulice depășesc capacitatea de rezistență a materialelor din baraj și fundație (Ali A. Aldulaimi, 2021).
12. Eroziunea internă poate fi oprită în barajele zonate dacă există filtre eficiente. În barajele neomogene, nu există zone; în consecință, dacă eroziunea se inițiază, nu poate fi oprită
13. Capacitatea unui baraj de a rezista forțelor erozive nu este constantă în timp. Acest lucru se datorează faptului că fisurarea în urma unei tasări, sau fracturarea hidraulică, sau zonele cu tensiuni scăzute, pot crea situri în care eroziunea se poate iniția chiar și la niveluri de apă experimentate anterior

8 Referințe

(n.d.).

Abadjiev, C. (1994). Safety Assessment and Stability Improvement of the Upstream Slope of Earth Dams. *Proc. Of the 18th ICOLD Congress*. Durban, South Africa.

Ali A. Aldulaimi. (2021). Safety evaluation of the chamrga earth dam. a seepage deformation, and stability analysis with GeoStudio. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 664(1). doi:0.1088/1755-1315/664/1/012075

Athani, S. (2015). Seepage and Stability Analyses of Earth Dam Using Finite Element Method. *International Conference on Water Resources*.

Baghalian, S., Nazari, F., & Branch, K. (2012). ANALYSIS AND ESTIMATION OF SEEPAGE DISCHARGE IN DAMS. *International Journal of Engineering and Applied*

- Sciences, 4(3), 49-56. Retrieved 10 16, 2021, from http://ijeas.akdeniz.edu.tr/_dinamik/160/125.pdf
- Beguin, R. (2011). Multi-scale study of contact erosion in earthen hydraulic structures. France: Universit  Joseph Fourier.
- Bong, T.-H., Son, Y., Noh, S.-K., & Choi, W.-S. (2013). *The Analysis of the Seepage Quantity of Reservoir Embankment using Stochastic Response Surface Method*. Retrieved 10 16, 2021, from http://koreascience.or.kr/article/articlefullrecord.jsp?cn=nghhci_2013_v55n3_75
- Brown, J. G. (2021, October 16). *Earth dam, embankment dam, rock-fill dam*. Retrieved from Encyclopædia Britannica: <https://www.britannica.com/technology/dam-engineering>
- Brown, P. H., Tullos, D., Tilt, B., Magee, D., & Wolf, A. T. (2009). Modeling the costs and benefits of dam construction from a multidisciplinary perspective. *Journal of Environmental Management*, 90. Retrieved 10 16, 2021, from <https://sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479708002740>
- C.Samtani, N. (2006). *Soils foundations rwfwrnce - volume 1*. Washington: U.S. Department of Transportation.
- Chen, Y. (2010). A new classification of seepage control mechanisms in geotechnical. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2 (3): 209–222.
- Donnelly, C. (2000). A phased approach to the rehabilitation of an aging northern dam. *Hydrovision-New Realities, New Responses*, 8, 8-11.
- engineers, U. A. (2004). *GENERAL DESIGN AND CONSTRUCTION CONSIDERATIONS*. USA / Washington.
- Fell, R., & Fry, J.-J. (2007). The state of the art of assessing the likelihood of internal erosion of embankment dams, water retaining structures and their foundations. In *Internal Erosion of Dams and their Foundations* (pp. 1-24). London: Taylor and Francis.
- Foster, M. A. (1999). *The probability of failure of embankment dams by internal erosion and piping*. School of Civil and Environmental Engineering, PhD Thesis. Sydney: University of New South Wales.
- Foster, M., Fell, R., & Spannagle, M. (2000). The statistics of embankment dam failures and accidents. *Canadian Geotechnical Journal*, 5(37), 1000-1024.
- Foster, m., Spannagle, m., & Fell, r. (1998). *Analysis of embankment dam incidents*. Sydney: University of New South Wales, School of Civil Engineering.
- Fry, J.-J. (2015). *Erinoh Benchmark with Teton Failure Draft*. Personal Communication.
- G. N. Smith, I. G. (1998). *Elements of Soil Mechanics*.
- GEO-SLOPE. (2012). *Stability Modeling with SLOPE/W*. Alberta- Canada: An Engineering Methodology.

- GEO-SLOPE International, L. (2009.). *Stress-Deformation Modeling with SIGMA/W*. Canada: An Engineering Methodology.
- Graham, A. (2020). <http://community.dur.ac.uk>. (David Toll)
- HANG, T. K. (1996). Stability Analysis of an Earth Dam under Steady State Seepage. *Computer and Structures*, 58(6), 1059-1264.
- Hnang, T. K. (1996). *Stability Analysis of an Earth Dam under Steady State Seepage*. China: Elsevier.
- ICOLD , N. C. (2016). Volume 2: Case Histories, Investigations, Testing, Remediation and Surveillance, Bulletin 164. In *Internal Erosion of Existing Dams, Levees and Dikes, and Their Foundations* (pp. 1-199). CIGB ICOLD .
- ICOLD. (2013). Volume 1: Internal Erosion Processes and Engineering Assessment. In *Internal Erosion of Existing Dams, Levees and Dikes, and Their Foundations* (pp. 1-163). International Commission on Large Dams.
- Independent Review Panel. (1979). *Report to the US Department of the Interior and the State of Idaho on the failure of Teton Dam*. Idaho: Idaho Falls.
- Jackson, D. C. (2020, mar 14). *Encyclopedia Britannica*. Retrieved mar 14, 2020, from <https://www.britannica.com/technology/dam-engineering>
- Khalil, A. (2012). Numerical Modeling of Pore Water Pressure Development within a Thin Clay Core in an Earth Dam. *Al-Rafdain Engineering*, 93-109.
- Lane, D. V., & Griffiths, P. A. (2001). Slope Stability Analysis by Finite Elements. *Geotechnique*, 653-654.
- Martinez, A. F. (2018, november 19). Retrieved from MIDASoft: <https://www.midasoft.com/geotechnical/fully-coupled-analysis-of-an-embankment-during-settlement-1>
- Murthy, G. S., Murty, K. G., & Raghupathy, G. (2015). *Designing Earth Dams Optimally*. Retrieved 10 16, 2021, from <http://www-personal.umich.edu/~murty/designing-earth-dams-optimally.pdf>
- Nikishkov, G. P. (2004). *INTRODUCTION TO THE FINITE ELEMENT METHOD*. Japan.
- P.A., D. G. (1999). Slope Stability Analysis by Finite Elements,” *Geotechnique*. *Geotechnique J*, 49, 387-403.
- Ramos-Rivera, J. (2016). Conceptual considerations of evaluate internal erosion phenomenon via no-erosion filter test and continuing erosion filter test. *E-UNSAT*. 9, p. 19006. EDP Sciences. doi:10.1051/e3sconf/20160919006
- Reclamation, B. o. (2011). *Design Standardf No. 13, chapter 1, revision 4*.
- S.S., A. (2015). Seepage and Stability Analyses of Earth Dam Using Finite Element Method. *Coastal and Ocean Eng* (pp. 876-883). India: www.sciencedirect.com.
- Stematiu, D. (2006). *Embankment Dams*. București.

- Tancev, L., & Kokalanov, G. (1970). Application Of Joint Elements At Finite Element Analysis Of Embankment Dams. *WIT transactions on engineering sciences*, 7. Retrieved 10 16, 2021, from <https://witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-engineering-sciences/7/10177>
- team, c. E. (2015, 08 28). <http://www.civileblog.com/types-of-dams>. (civil Eblog)
- U.S Army corps Engineers. (1993). *Engineering and Design Seepage Analysis and Control for Dams*. Washington: Department of Army U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Manual, No. 1110-2-1901.
- U.S Army Corps Engineers. (1993). *Engineering And Design Seepage Analysis and Control For Dams*. Washington: Departement of the Army U.S. Army Corps of Engineers.
- United States Department of the Interior, B. o. (1994). *Maximum sections and earthwork control statistics of earthfill dams* . Denver, Colorado.
- US Army corps of Engineers. (2004). *Genral design and construction considrations* . USA / Washington.
- Watts, R. (2002). Failure of the Teton dam: geotechnical aspects. *International Water Power & Dam Construction*, 30-31.
- Zhu, P., Zhou, Y., Thévenaz, L., & Jiang, G. L. (2008). *Seepage and settlement monitoring for earth embankment dams using fully distributed sensing along optical fibers*. Retrieved 10 16, 2021, from https://infoscience.epfl.ch/record/133658/files/zhu-2008-seepage_and_settleme.pdf