

الفصل الثاني

الدراسات السابقة

2-1 تمهيد

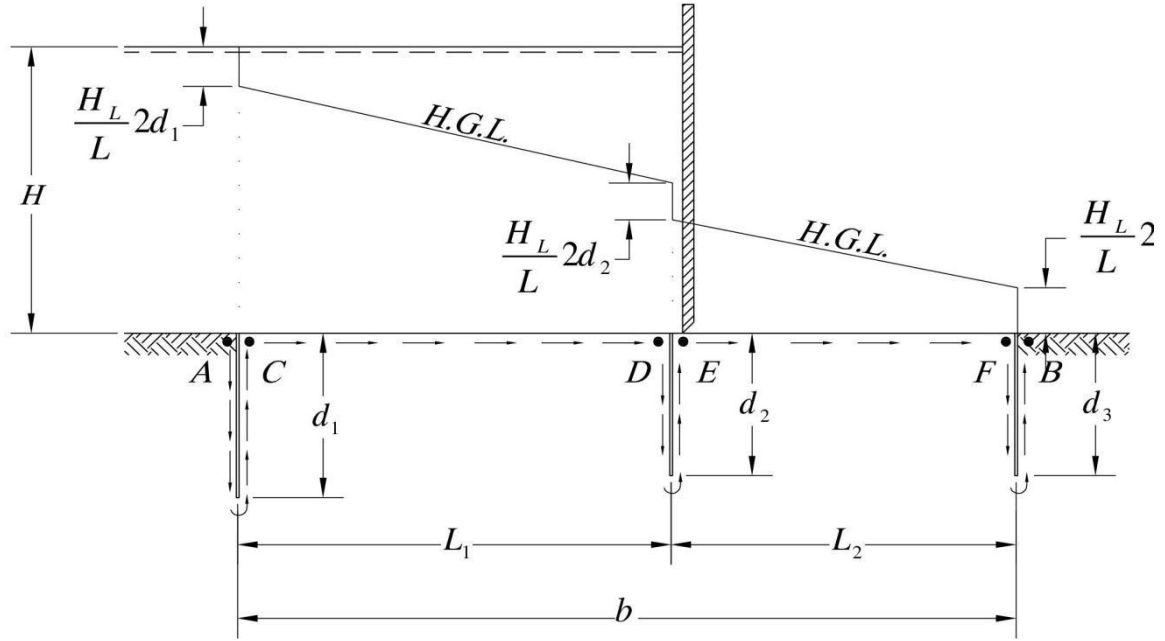
من المشاكل الرئيسية التي تواجه المهندسين في تصميم المنشآت الهيدروليكية هي مشكلة التسرب خلال التربة التي اقيم فوقها المنشأ ونتيجة لتسرب المياه يتولد ما يسمى بضغط الارتفاع على قاعدة المنشأ وكذلك تتولد قوى التسرب التي تحاول جرف حبيبات التربة مسببة ما يعرف بالانجراف الداخلي. فعند تصميم ارضية المنشآت الهيدروليكية تبرز نقطة مهمة وهي تقليل مشاكل التسرب ومن اهمها تقليل قيم ضغط الارتفاع ومن احدى الطرائق الهندسية الواجب اتباعها للحد من هذه المشاكل هي استخدام الركائز الصفائحية في مقدم أو مؤخر المنشأ أو في منطقة وسطية بين المقدم والمؤخر (Harr .1962; Fattah and Tawfig 1982; Ijam and Hamza .1993).

2-2 الطرق التقريبية المستخدمة لاستنتاج توزيع قوى ضغط الارتفاع

تقوم فكرة هذه الطرق على نظرية خط الزحف (*Line of Creep theory*) والتي اقترحها بلاي (*Bligh*) في عام 1910، وتبعا لهذه النظرية فان بلاي يفترض ان تسرب المياه تحت المنشأ سوف يتركز على طول الخط الفاصل بين الكنتور السفلي للمنشأ وبين سطح تربة الاساس العلوي والذي يسمى بخط الزحف. (الجنايني, 1982).

2-2-1 نظرية بلاي Bligh's Theory

ان التجارب التي اجريت في جامعة *Thomason* عام 1896 تؤكد بأن خطر التعرية يقلل بواسطة زيادة المسافة التي يقطعها الماء خلال التربة وكذلك يقلل بواسطة تقليل الانحدار الهيدروليكي، وفي عام 1910 صاغ بلاي نظريته بخصوص خط الزحف وذلك لتوسيع مفهوم الانحدار الهيدروليكي، حيث اكد على ان اخرج خط للتسرب هو خط التماس بين المنشأ والاساس الذي سماه بخط الزحف (LW) وان الفقدان في شحنة الضغط يكون نسبة الى خط الزحف، كما في الشكل (1-2). (Garg ,1995)



الشكل (1-2) خط الزحف

$$Creep Line = (2 \times Vertical Distances) + (Horizontal Distances) \dots\dots\dots (2-1)$$

$$LW = 2 (d_1 + d_2 + d_3) + (L_1 + L_2) \dots\dots\dots (2-1-a)$$

$$LW = 2 (d_1 + d_2 + d_3) + b \dots\dots\dots (2-1-b)$$

2-1-2-2 أمان المنشأ ضد النحر الانبوبي

يمكن الحصول على أمان المنشأ ضد النحر الانبوبي وذلك بتأمين طول كافي لخط الزحف والذي يحسب من المعادلة التالية:

$$LW = C \times h \dots\dots\dots (2-2)$$

حيث أن :

h = ارتفاع الماء في مقدم المنشأ (متر)

C = معامل بلاي لخط الزحف وتختلف قيمته حسب نوعية التربة كما مبين في الجدول (1-2).

الجدول (1-2) قيم معامل C لخط الزحف

ت	نوع التربة	قيمة المعامل C	الانحدار الهيدروليكي الآمن
1	رمل ناعم (Fine Sand)	15	$\frac{1}{15}$
2	رمل خشن متدرج (Coarse Grained Sand)	12	$\frac{1}{12}$
3	رمل مخلوط مع حصي (Sand mixed with boulders and gravel)	9 - 5	$\frac{1}{9} - \frac{1}{5}$
4	رمل خفيف وطين (Light Sand & Mud)	8	$\frac{1}{8}$

- الانحدار الهيدروليكي (LW\H) يكون اصغر من $C \setminus 1$ لكي يكون المنشأ آمن ضد النحر الانبوبي. (Garg ,1995)

2-1-2-2 أمان المنشأ ضد ضغط الاصعاد

إذا كانت شحنة ضغط الاصعاد عند أي نقطة يساوي (H_i) (متر)، فإن هذا الضغط يجب ان يعادل بوزن سمك الأرضية الكونكريتية.

$$Uplift pressure at point (i) = H_i \gamma_w \dots\dots\dots(2-3)$$

$$Downward Pressure = (\gamma_w G_c)t_c - \gamma_w t_c \dots\dots\dots(2-4)$$

حيث أن:

G_c = الوزن النوعي لمادة أرضية المنشأ (الكونكريت)

t_c = سمك أرضية المنشأ (متر)

عند حالة التوازن بين ضغط الاصعاد عند نقطة معينة ووزن الارضية عند هذه النقطة يكون:

$$H_i \gamma_w = (\gamma_w G_c)t_c - \gamma_w t_c \dots\dots\dots(2-5)$$

$$H_i = G_c t_c - t_c = t_c (G_c - 1) \dots\dots\dots(2-6)$$

$$t_c = \frac{H_i}{(G_c - 1)} \dots\dots\dots(2-7)$$

وللحصول على معامل أمان مناسب يتم ضرب قيمة (t_c) بالعامل $(\frac{4}{3})$. (Garg ,1995)

2-2-2 نظرية لين Lane's Theory

قام لين بدراسة إحصائية لما يزيد عن مائتي منشأ من السدود المائية ذوات الأسس النفاذة في الولايات المتحدة وفي بقية أنحاء العالم ومن ضمنها سدة الهندية في العراق وكان منها ما هو فاشل حصلت فيه حوادث ومعالجة والبقية في حالة جيدة صالحة وقد توصل في دراسته هذه الى أن خط الزحف بالاتجاه الأفقي أقل تأثيراً من خط الزحف بالاتجاه العمودي. وبعد تجارب اقترح لين عام 1934 طريقة أكثر تطوراً لإيجاد خط الزحف من طريقة بلاي وذلك بجمع أطوال خطوط النفوذ العمودي وأن يضاف إليها ثلث طول خطوط النفوذ الأفقية وقد سمي طول خط الزحف هذا بخط الزحف الموزون أو المعدل (*weighted Line of Creep*) وبذلك تصبح معادلة بلاي المعدلة كما قدمها لين بالشكل التالي :

$$LW = \sum 1/3 \text{Horizontal} + \sum \text{Verticals} \dots\dots\dots (2-8)$$

$$LW = 2d_1 + 1/3L_1 + 2d_2 + 1/3L_2 + 2d_3 \dots\dots\dots (2-8-a)$$

$$LW = 2(d_1 + d_2 + d_3) + 1/3(L_1 + L_2) \dots\dots\dots (2-8-b)$$

$$LW = b/3 + 2(d_1 + d_2 + d_3) \dots\dots\dots (2-8-c)$$

H : مجموع المسافات الأفقية+المسافات المائلة بزاوية اقل من 45 مع الافق.

V : مجموع المسافات العمودية+المسافات المائلة بزاوية أكبر من 45 مع الافق (*Nassir, 1993*).

2-2-3 نواقص طريقة لين وبلاي

انصبت دراسة بلاي على طول خط الزحف باعتباره عاملاً يتساوى مفعول أجزائه فلا فرق بين مقدم المنشأ أو مؤخره ولا فرق بين جزء عمودي وجزء أفقي وكانت فكرته بصورة عامة قريبة من الواقع ولكن النقص يكمن في التفاصيل وهنا تقدم لين لدراسة التفاصيل وقسم الخط الى جزئين جزء عمودي ويشمل أيضاً الأجزاء التي تزيد عن 45 مع الأفق وجزء أفقي ويشمل الأجزاء التي تقل عن 45 مع الافق.

لم يبين لين في دراسته هذه اختلاف الاتجاه العمودي الصاعد من النازل كما انه لم يذكر شيئاً عن عمق الجدران القاطعة ولا وضع حد ادنى لعمقها سواء في ذلك جدار المقدم أو جدار المؤخر.

إن الأمر الذي أغفله كل من بلاي ولين ومن واكب دراستهم هو القوى التي تدفع الماء للنفوذ وبيان نسبها على طول خط سيرها مع تعيين المواقع التي تكفي فيها هذه قوى لإزاحة التربة ومن ثم معالجة

هذه المواقع بالذات. إن هذه الطريقة هي التي اتبعها ترزاكي في النمسا ثم في أمريكا واتباعها خوصلا في الهند وقدم نتائج مستندة على أساس علمي رياضي. فقد بين ترزاكي إن دراسة مفصلة لمخرج خط نفوذ الماء هي ضرورية إذ إن القوة الدافعة للماء والتي تقدر سرعة نفوذه قد تصل قرب المخرج إلى درجة من الشدة تكفي لرفع عمود التربة إلى الأعلى بغض النظر عن كفاية طول الزحف أو عدم كفايته . (Garg ,1995)

2-2-4 طريقة خوصلا

تتميز هذه الطريقة بسهولة وكونها قابلة للتطبيق على كافة الاشكال المختلفة للمنشآت وتعتمد على ايجاد قيم للشحنة البيزومترية لنقاط محددة تسمى (*key points*) في الأوجه الداخلية والخارجية وقعر الركيزة ثم يتم تصحيح هذه القيم بالاعتماد على معاملات خاصة ومن ثم ايجاد الشحنة البيزومترية لأي نقطة على طول الارضية بأجراء عملية التداخل (*interpolation*).
(Bureau of reclamation .1977; Leliavsky.1979)

2-3 قانون دارسي Darcy's Law

في عام 1856 اقترح مهندس فرنسي يدعى دارسي هذا القانون والذي يطبق على الجريان الطباقى. حيث أن السرعة خلال الوسط المسامي (v) تتناسب مع الانحدار الهيدروليكي (i) كما مبين أدناه:

$$v \propto i$$

$$v = ki \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

$$\text{Since } Q = vA$$

$$Q = kiA \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

$$\text{Where } A = B \cdot y$$

$$q = ki y \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

حيث أن:

K : معامل النفاذية ووحدته هي مثل وحدة السرعة

i : الانحدار الهيدروليكي (بدون وحدات)

Q : التصريف للتسرب (L^3/T)

A : مساحة مقطع الجريان (L^2)

B : عرض مقطع التسرب (L)

y: عمق الجريان (L)

q: كمية التصريف لكل وحدة عرض ($L^3/T.L$)

2-3-1 تطبيقات قانون دارسي

- تم ثبوت صحة قانون دارسي خصوصا افتراضاته في نظريات ميكانيك التربة ومن هذه النظريات :
- نظرية تضيق الطين (*consolidation*)
- النظرية الكمية للجريان الطباقى في الأوساط المسامية المتجانسة.
- الحلول التطبيقية لمعادلات لابلاس بواسطة شبكات الجريان وصحة قانون دارسي في افتراضاته للجريان الطباقى المقدم في تجارب:
- أ- شبكات الجريان للتسرب الثابت خلال مقطع من الارض ذو نفاذية واحدة أو مختلفة لكلا حالتي (*Anisotropic, Isotropic*).
- ب- حساب مقدار سرعة الماء المستنزمة في الوسط المسامي تحت حالة التسرب الثابت.
- ج- تطبيقات النضح غير الثابت لشبكات الجريان.
- د- حساب كميات النضح خلال تربة مشبعة وتكوينات الصخور وغيرها من الاوساط المسامية.
- ذ- حساب سعة التصريف للكتل المسامية وهذه ايضا تحتاج الى استعمال قانون سرعة النضح.

2-4 تحليل التسرب (معادلة لابلاس)

لعمل تحليل للتسرب يجب أن يتوفر نموذج عام يصف ظاهرة التسرب مجهز بحدود معينة وشروط وخصائص التربة، هذا النموذج يمكن استخدامه لحساب ارتفاع الماء وتوزيع التدفق وكمية التسرب. معادلة لابلاس تعتبر قاعدة رياضية لعدة نماذج او نظريات تستخدم لتحليل التسرب.

2-4-1 فرضيات معادلة لابلاس

بنيت معادلة لابلاس على ست فرضيات :-

- 1- ارتفاع الماء (h) و (h_2) ثابت، والجريان بحالة مستقرة (*steady*) حيث ان (h) هو ارتفاع الماء في المقدم ، و (h_2) هو ارتفاع الماء في المؤخر.
- 2- الماء غير مضغوط *incompressible*.
- 3- حجم الفجوات لايتغير أي ان التربة غير قابلة للانضغاط.
- 4- الجريان يكون طباقى اي يطبق قانون دارسي
- 5- التدفق يكون ببعدين.

6- طبقة التربة النفاذة المشبعة تكون متجانسة.

ان صيغة معادلة لابلاس لجريان طباقى ببعدين داخل وسط مسامي متجانس موحد الخواص هي:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (2-12)$$

2-4-2 طرق حل معادلة لابلاس

عدة نظريات طورت لحل معادلة لابلاس بصورة مضبوطة او تقريبية لحالات مختلفة من التسرب،

(1978, Radhakrishnan) وهذه الطرق هي :

2-4-2-1 الطرق التحليلية

(Pavlovsky, 1956) طور طريقة تقريبية تسمح بتجميع اجزاء شبكة التدفق لتكوين شبكة تدفق

واحدة، يحلل التدفق لكل جزء ثم تعيد تجميع الاجزاء لتكوين الحل العام.

(Harr, 1962) شرح استخدام التحويلات والتخطيط لتحويل هندسة التسرب من مستوي الى اخر،

في هذه الطريقة خصائص التسرب يمكن ان تؤخذ من مستوي يكون عنده الحل مجهول الى مستوي يكون عنده معلوم. بينما هذه الطريقة استخدمت للحصول على الحلول للمسائل العامة ولم تستخدم كثيرا للحلول لتحديد مواقع التسرب المعينة، لذلك يتطلب استعمال نظرية المتغير المعقدة والاختيار المناسب من دالة التحويل .

(Boger, 1998) حل معادلة الجريان الثلاثية الابعاد باهمال القوى الشعرية في النصف الاول من الشريحة، وفي النصف الثاني عالج التسرب بحالة جريان مستقر مع الاخذ بنظر الاعتبار القوى الشعرية. الاستنتاجات التالية يمكن ان تحصل من تحليل الحلول لحالات عدم وجود تأثيرات الخاصية الشعرية للمنحدرات غير المشبعة غير متجانسة الخواص :

1- تدفق التسرب في هذه الحالات يعتمد على خواص التربة ويعتمد بصورة اقل على منحدر المحور الرئيسي للتوصيل، كما ان تدفق التسرب لا يعتمد على ميل سطح التربة. هذه النتائج تمكن من وصف آلية الجريان الافقي في المنحدرات، وهكذا فأن النتيجة المفاجئة بأن التربة يمكن ان تملك (ذاكرة هيدرولوجية) هذا لان التوصيل يمكن ان يبقى بدون تغيير بينما سطح التربة يبدل .

2- استنادا على هذه النتائج عندما يصمم غطاء للارض فأنه من الممكن الحصول على زاوية مثالية لتقليل الارتشاح.

2-2-4-2 الطرق العددية

وهي نماذج حاسوب تستعمل لعمل تقريبات مقبولة لمعادلة لابلاس لظروف جريان معقدة، وهناك أربع طرائق أساسية للحل العددي هي: الفروق المحددة، العناصر المحددة، الحجم المحددة والعناصر الحدية. كل من هذه الطرائق يمكن ان تستعمل لنماذج احادي او ثنائي او ثلاثي الابعاد.

1- طريقة الفروق المحددة The Finite Difference Method

تحل هذه الطريقة معادلات لابلاس بتقريبها من مجموعة معادلات جبرية خطية، منطقة التدفق تقسم الى شبكة مستطيلة من النقاط العقدية التي تعطي قيم الشحنة (قيم الشحنة معلومة على طول حدود الشحنة المثبتة او النقاط) تحسب الشحنة للعقد التي لاتملك قيم شحنة اولية معلومة مقدارها مساوي لمعدل الشحنة للعقد المجاورة.

(Ishaq, 1989) استعمل تحويل إحداثيات الفروق المحددة لحساب توزيع الضغط تحت المنشأ الهيدروليكي وتدرج المخرج مع وبدون ركيزة في مقدم أو مؤخر المنشأ. النتائج تتضمن ان التوزيع لتدرج المخرج وانحدار التوصيل الهيدروليكي اكبر من (90) واقل من (180)، وللمنشأ الهيدروليكي مع ركيزة في المؤخر او ركيزة مغروسة في تربة غير متجانسة تصبح قيمها صغيرة في بروز السد السفلي وتزداد الى حده الاقصى في مسافة معينة من المؤخر من البروز السفلي وتعتمد على قيمة (θ) ودرجة التجانس.

(Irzooki, 2006) استخدم طريقة الفروق المحددة مع تقنية الارخاء ضمن برنامج حاسوبي لبيان تأثير الركائز المائلة للمنشآت الهيدروليكية على ضغط الاصعاد اسفل هذه المنشآت. استخدمت في مؤخر المنشأ ركيزة مائلة بزاوية مقدارها (45°) باتجاه المؤخر بحيث تكون بدايتها قبل نهاية الارضية بمسافة مساوية الى عمق هذه الركيزة في حالة كونها عمودية وذلك للحصول على اقل ضغط اصعاد عند تلك المنطقة. هذه الوضعية لركيزة المؤخر استخدمت معها ركائز مائلة في المقدم وفي وسط ارضية المنشأ وان زاوية ميلان هذه الركائز كانت بمقدار $(14^\circ, 26^\circ, 45^\circ)$ باتجاه المقدم أو المؤخر. اظهرت النتائج عند المقارنة مع الحالة القياسية التي فيها تكون الركائز عمودية ان افضل حالة يتم فيها الحصول على اكبر نسبة تخفيض لضغط الاصعاد هي التي تكون فيها ركيزة المؤخر بوضعيتها الجديدة وركيزة المقدم مائلة بزاوية (14°) باتجاه المؤخر. اما عند استخدام ركيزة وسطية للمنشأ فأن افضل حالة لهذا المنشأ هي التي تكون فيها هذه الركيزة وركيزة المقدم مائلة بزاوية (14°) باتجاه المؤخر وركيزة المؤخر بوضعيتها الجديدة.

2- طريقة العناصر المحددة The Finite Element Method

هي طريقة ثنائية للحل العددي وتستند على التقسيم الشبكي للنموذج (ليس بالضرورة كونه مستطيلاً) الذي يقسم منطقة الجريان الى عناصر منفصلة مزودة (N) من المعادلات مع (N) من المجاهيل خصائص المادة بالإضافة الى النفاذية محددة لكل عنصر والمحددات (ارتفاع شحنة المقدم ومعدل التدفق). نظام المعادلات يحل لحساب الشحنة في العقد والتدفق في العناصر (الشرائح). طريقة العناصر المحددة لها عدة فوائد مقارنة بطريقة الفروق المحددة في حل مسائل التسرب المعقدة.

الموسوي (2002) درس مشاكل التسرب أسفل المنشآت الهيدروليكية، فكرة هذا البحث هي إيجاد التصميم الامثل لوسائل السيطرة المستخدمة في تقليل التسرب اسفل المنشآت الهيدروليكية. استخدمت طريقة العناصر المحددة لتحليل التسرب خلال تربة الاساس النفاذة تحت المنشآت الهيدروليكية المزودة بوسائل سيطرة على التسرب هي الطبقة الصماء (*blanket*) والقاطع الرأسي والمرشح. ولقد تم دراسة تأثير أطوال ومواقع هذه الوسائل في تقليل التسرب أسفل ارضية المنشآت الهيدروليكية وإيجاد الافضل من بينها وذلك من خلال مقارنة مجموعة منحنيات توزيع ضغط الاصعاد تحت ارضية المنشأ وتوزيع قيم الانحدار الهيدروليكي عند مؤخرة المنشأ (*exit gradient*)، طبق نموذج الامثلية على منشأ افتراضي (*hypothetical case*) واستخدمت طريقة (*Lagrange multiplier*) لحل مسألة الامثلية وذلك لإيجاد المعالجات الاقل كلفة مع المحافظة على ضغط اصعاد أمين وانحدار هيدروليكي أمين عند مؤخرة المنشأ. دلت نتائج البحث على حدوث اقتصاد كبير في الكلفة من خلال استخدام نظام الامثلية، كما بينت نتائج التحليل على ان استخدام الطبقة الصماء في المقدم يقلل من ضغط الاصعاد والانحدار الهيدروليكي عند المؤخر بينما استخدامها في مؤخر المنشأ يزيدهما. كذلك فإن استخدام القاطع الرأسي في المقدم فعال جدا في تقليل ضغط الاصعاد، في حين ان استخدامه في المؤخر سيكون فعالا جدا في تقليل الانحدار الهيدروليكي عند المؤخر وقد بينت النتائج ايضا ان استخدام المرشح فعال جدا في تقليل ضغط الاصعاد والانحدار الهيدروليكي عند المؤخر في نفس الوقت. لقد بين البحث ان اكثر المعالجات اقتصادية هو عند استخدام المرشح مع المنشأ الهيدروليكي في حين ان أكثرها كلفة يكون عند استخدام قاطع رأسي في مؤخر المنشأ.

(*El -Fitiany et al., 2003*) قدموا دراسة الهدف منها هو تحليل مشكلة التسرب ثلاثي الابعاد للمياه تحت وحول المنشأ الهيدروليكي ومحاولة تحديد الحدود الفاصلة التي يمكن عندها تبسيط طريقة التحليل واعتبار ان التسرب ثنائي الابعاد بدون خطأ يذكر، ثم توضيح الفروض المستخدمة والشروط الحدية وخطوات الحل باستعمال طريقة العناصر المحددة. وأهم المؤثرات التي اعتبرت في هذا البحث وتشمل : العرض النسبي للمنشأ، والقيم النسبية لسمك وعرض الطبقة النفاذة من التربة المقام عليها المنشأ ثم عرض مختصر لبرنامج الحاسب المستخدم والذي تم تحقيقه بمثالين احدهما ثنائي الابعاد والآخر ثلاثي الابعاد، ثم عرض شامل للمنحنيات التفصيلية للنتائج وتحليلها ومناقشتها وتحديد تأثير

كل من المؤثرات السابقة على توزيع الضاغط البيزومتري اسفل المنشأ والميل الهيدروليكي للسرعة عند المخرج سواء في القاع او الجوانب وقيم التصرف للمياه المتسربة من القاع والجوانب. تم مقارنة نتائج النموذج ثلاثي الابعاد مع النموذج ثنائي الابعاد وتحديد نسبة الخطأ الناتج عن أهمل تأثير التسرب الجانبي، وختمت الدراسة ببيان لأهم النتائج التي تم التوصل اليها وكذلك التوصيات المقترحة في التصميم لمثل هذه المنشآت .

(*Al-Delewy et al. 2006*) قدموا دراسة تهدف الى تحديد وسيلة السيطرة المثلى لتقليل الرش تحت المنشآت الهيدروليكية. جرى استخدام طريقة العناصر المحددة لتحليل الرش خلال الاوساط المسامية تحت المنشآت الهيدروليكية بوجود بطانة أو جدار قاطع او خندق مرشح كوسيلة للسيطرة على الرش وتم تحري تأثير طول وموقع تلك الوسائل لتحديد الطول والموقع الامثلين. لقد تم تطبيق نموذج الامثلية المصاغ على حالة تطبيقية افتراضية، وجرى حل المسألة بطريقة معامل لاكرانج لايجاد الكلفة الادنى لوسيلة السيطرة مع المحافظة على كل من انحدار المخرج وضغط الرفع ضمن الحدود الامنة. لقد بينت الدراسة ان الكلفة الكلية الادنى تكون بأستعمال خندق مرشح بينما كانت الاعلى عند استعمال جدار قاطع عند المؤخر.

(*Ahmed, 2011*) درس خصائص التسرب اسفل المنشآت الهيدروليكية باستخدام برنامج حاسوب بأتباع طريقة العناصر المحددة. لقد تم دراسة وضعيات مختلفة للركائز الموضوعة اسفل ارضية المنشأ الهيدروليكي. وبينت النتائج ان تمديد الركيزة الموضوعة في وسط الارضية بشكل عرضي لها تأثير قليل جدا على قوة ضغط الاصعاد وتدرج المخرج في نهاية مؤخر المنشأ. اما عند حصر ارضية المؤخر (D/S) من ثلاث جهات فلايكون هناك اي تأثير على قيمتي ضغط الاصعاد وتدرج المخرج. وتبين ان الوضعية الاكثر فعالية للركيزة هي عند وضع صفين من الركائز في وسط ونهاية المؤخر (D/S) مع تمديد الركيزة الاخيرة بضعة امتار الى ضفة القناة. هذه الحالة خفضت وبشكل كبير من قيمة تدرج المخرج وسببت زيادة قليلة لقيمة ضغط الاصعاد بالمقارنة مع الوضعيات الاخرى.

3- طريقة الحجم المحددة Finite Volume Method

طريقة الحجم المحددة هي بالاصل صياغة خاصة من معادلة الفروق المحددة، وهي طريقة عددية لحل المعادلات التفاضلية الجزئية بدلا عن استخدام الطرق التحليلية حيث يتم تقسيم المتغير المعتمد المراد حسابه الى ارقام محددة لحجوم منفصلة ويمكن بعد ذلك كتابة معادلات جبرية لكل حجم. طريقة الحجم المحددة مفيدة وخصوصا لحالات الجريان بين سطحين عديمي النفاذية ومختلفين في الخصائص الفيزيائية.

(*El-Jumaily and Al-Bakry, 2013*) قدموا بحث تم فيه تحليل التسرب خلال وتحت المنشآت المائية في ان واحد دون اللجوء الى تقسيم المنشأ الى أقسام وتحليل كل جزء على حدة. تم التحليل باستخدام طريقة العناصر الحجمية وباستخدام عناصر مستطيلة الشكل، طبقت الطريقة على عدة انواع

من المنشآت ومقارنة النتائج مع نتائج الحل بطريقة العناصر المحددة فكانت النتائج متقاربة. تم تطبيق الطريقة على المنشآت ذات الإشكال غير المستطيلة وايضا دراسة تأثير الاسس غير المتجانسة على ضغط الاصعاد والانحدار الهيدروليكي عند المؤخر مقارنة مع الاسس المتجانسة بالإضافة الى تقييم تأثير موقع ودرجة ميلان الحواجز الرئيسية عند مقدم أو مؤخر المنشأ على ضغط الاصعاد والانحدار الهيدروليكي عند المؤخر. كما تم دراسة تأثير وجود جسم غير نفاذ للماء في المنشأ أو أساسه على ضغط الاصعاد والانحدار الهيدروليكي عند المؤخر.

4- طريقة العناصر الحدية The Boundary Element Method

هناك عدة مسائل هندسية وفيزيائية كالحالة المستقرة للتوصيل الحراري ومسائل التدفق المحتملة جميعها تكون محكومة بمعادلة تفاضلية توافقية يعبر عنها كما يلي :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) + f(x, y, z) = 0 \quad \dots\dots\dots (2-13)$$

حيث ان :

k_x, k_y, k_z = خواص المادة المعطاة.

$u(x, y, z)$ = الدالة الحقلية المجهولة.

$f(x, y, z)$ = الدالة المعطاة.

x, y, z = الاحداثيات الكارتيزية.