جامعة الفيوم
Fayoum University
كليــة الهندســة

التحليل الإنشائي ثلاثي الأبعاد بإستخدام طريقة العناصر الحدودية للبلش و كذلك البلش المرتكزة على خوازيق فوق تربة غير متجانسة

رسالة مقدمة من

مهندس/ عماد عمر على على عزام

للحصول على

درجة دكتوراه الفلسفة في العلوم الهندسية

(الهندسة الإنشائية)

قسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة

جامعة الفيوم

2021

التحليل الإنشائي ثلاثي الأبعاد بإستخدام طريقة العناصر الحدودية للبلش و كذلك البلش المرتكزة على خوازيق فوق تربة غير متجانسة

رسالة مقدمة من

مهندس/ عماد عمر على على عزام

للحصول على

درجة دكتوراه الفلسفة في العلوم الهندسية

(الهندسة الإنشائية)

لجنة الإشراف العلمي:

أ.د. / هانئ أحمد الغزالي

أستاذ تحليل وميكانيكا الإنشاءات بقسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة ، جامعة الفيوم

أ.د. / يوسف فوزي راشد

أستاذ تحليل وميكانيكا الإنشاءات بقسم الهندسة الإنشائية

كلية الهندسة ، جامعة القاهرة

قسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة

جامعة الفيوم

2021

التحليل الإنشائي ثلاثي الأبعاد بإستخدام طريقة العناصر الحدودية للبلش و كذلك البلش المرتكزة على خوازيق فوق تربة غير متجانسة

ملخص الرسالة:

في هذه الرسالة يتم عمل تحليل إنشائي خطي و لاخطي للبلش و كذلك البلش المرتكزة على خوازيق فوق تربة غير متجانسة بطريقة مبتكرة و فعالة و ذلك باستخدام طريقة العناصر الحدودية ثلاثية الأبعاد. و للوصول لهذه الطريقة الفعالة تم عمل هذا البحث على خمسة مراحل. المرحلة الأولى و هي التي يتم فيها عمل نمزجة جديدة و فعالة للتربة أسفل اللبش حيث يتم تقسيم بلوك التربة إلى مجموعة من المناطق الحدودية ثلاثية الابعاد و الملتصقة ببعضها في مجموعة من العناصر الحدودية و تعتبر كل منطقة حدودية كعنصر محدد كبير مع اعتبار إزاحة صفرية للنقاط على حدود بلوك التربة. و من ثم يتم حل هذا النظام باستخدام طريقة الجساءة التقليدية حيث يتم حل كل عنصر محدد كبير منفردا باستخدام طريقة العناصر الحدودية لإيجاد الجساءة و ردود الأفعال عند نقاط الالتصاق لهذا العنصر ثم يتم تجميع الجساءات و ردورد الأفعال لتكوين مصفوفة الجساءات الكلية و كذلك مصفوفة ردود الأفعال الكلية و حل نظام المعادلات $K\ u = P$ لإيجاد الإزاحات عند نقاط الإلتصاق و أخيرا يتم حل كل عنصر محدد كبير باستخدام طريقة العناصر الحدودية لإيجاد الإزاحات و الإجهادات عند باقى نقاط العنصر حيث أصبحت النتائج عند نقاط الإلتصاق معروفة. يتميز هذا الأسلوب المستخدم لنمذجة التربة أسفل اللبش باستخدام عدد درجات حرية أقل كثيرا منها في حالة استخدام طريقة العناصر المحددة التقليدية مما يساعد في تقليل المجهودات الحسابية كثيرا. و مع هذا فإنه توجد مشكلة في حالة المسائل العملية الكبيرة و التي تتطلب استخدام أجهزة حاسب آلي بمواصفات عالية من حيث سعة الذاكرة ولذلك يأتي دور المرحلة الثانية و التي يتم فيها حل هذه المشكلة.

في المرحلة الثانية يتم استخدام ال Hardware كذاكرة إضافية لتقليل الجزء المخزن على الذاكرة الداخلية و ذلك بالتوازي مع استخدام طرق الحلول التكرارية (Iterative solvers) التي تستطيع

حل نظم المعادلات الكبيرة مثل (GMRES and BiCGStab) لزيادة سرعة الحل. حيث يتم تقسيم مصفوفة الجساءة الكلية و التي تشغل الجزء الأكبر من الذاكرة الداخلية إلى مجموعة من المصفوفات الصغيرة و التي تناسب السعة المتاحة للذاكرة الداخلية. و يتم تجميع كل مصفوفة صغيرة على حدى و تخزين القيم الغير صفرية فقط على ال Hardware و عند الحل بالطرق التكرارية يتم استدعاء القيم المخزنة لمصفوفة الجساءة لاستخدامها في حل نظام المعادلات الأساسي. يجب أن يذكر أنه كلما زاد حجم المسألة كلما أصبحت هذه الطريقة أكثر كفاءه و فاعلية حيث تزداد نسبة العناصر الصفرية عن العناصر الغير صفرية في مصفوفة الجساءات و التي يتم استبعادها اثناء استخدام هذه الطريقة.

في المرحلة الثالثة يتم حل اللبش على بلوك التربة الغير المتجانسة. حيث يتم حساب مصفوفة الجساءة للتربة عند مر اكز عناصر الألتصاق بين سطح التربة و اللبشة ثم يتم إضافة هذه المصفوفة إلى نظام معادلات طريقة العناصر الحدودية للبشة. و يتم تمثيل اللبشة ك Shear deformable plate bending و يتم حلها بطريقة العناصر الحدودية. و لحساب مصفوفة الجساءة يتم نمزجة بلوك التربة بالطريقة المستخدمة في المرحلة الأولى مع العلم أن يتم أعتبار حدود بلوك التربة تبعد عن حدود اللبشة مسافة تساوى من ثلاثة أمثال إلى خمسة أمثال عرض اللبشة من كل اتجاه. ثم يتم عمل حالات تحميل لعناصر التربة الملاصقة للبشة لحساب مصفوفة المرونة للتربة و منها حساب مصفوفة الجساءة. و تم تطوير هذه الطريقة لتصبح أكثر ابتكارا و فاعلية حيث يتم تقسيم بلوك التربة إلى جزئين، جزء قريب تكون حدوده مع حدود اللبشة مباشرة أو يبعد عنها مسافة بسيطة و جزء بعيد ثم يتم نمزجة الجزء القريب بنفس أسلوب المرحلة الأولى مع إضافة إزاحات للنقاط الحدودية للجزء القريب و المحسوبة مسبقا باستخدام (Mindlin's solution) و بالتالي يتم حساب مصفوفة الجساءة من الجزء القريب فقط. إن استخدام هذا الأسلوب الأخير من تقسيم التربة إلى جزء قريب و آخر بعيد يقلل كثيرا من الحجم الكلي للمسألة مما يجعل حل المسائل العملية الكبيرة بسيط و سريع.

في المرحلة الرابعة يتم عمل إقتران بين طريقة العناصر الحدودية و طريقة العناصر المحددة لحل اللبش المرتكزة على خوازيق على تربة غير متجانسة. حيث يتم تقسيم المسألة إلى جزئين، الجزء

السفلي و المتمثل في التربة و الخوازيق و الجزء العلوي و المتمثل في اللبشة. يتم تمثيل الجزء السفلي باستخدام طريقة العناصر المحددة و ذلك باستخدام برنامج SAP2000 بينما يتم تمثيل الجزء العلوي باستخدام طريقة العناصر الحدودية و ذلك باستخدام برنامج PLPAK. و تم عمل أداة إقتران بين برنامج SAP2000 و برنامج PLAPK حيث يتم حساب مصفوفة الجسائة للجزء السفلي و إضافتها للجزء العلوي و الحل ببرنامج PLPAK. يتميز هذا النظام الإقتراني عن النظم الأخرى التي يتم فيها تمثيل كامل المسألة باستخدام طريقة العناصر المحددة بأن تقسيم الجزء السفلي غير مرتبط بالأحمال المؤثرة على الجزء العلوي و بالتالي يمكن تقسيم الجزء السفلي إلى عناصر كبيرة الحجم نسبيا مما يساعد على تقليل السلبيات الناتجة عن استخدام طريقة العناصر المحددة و المتمثلة في الكم الهائل من درجات الحرية و التي تجعل نظام المعادلات كبير.

في المرحلة الخامسة يتم عمل تحليل لاخطي للبش و اللبش المرتكزة على خوازيق بطريقة بسيطة و فعالة جدا حيث أن بلوك التربة لا يدخل في خطوات التحليل اللاخطي مما يساعد في تقليل المجهود الحسابي كثيرا. بعد عمل تحليل خطي للمسألة بالطريقة المذكورة في المرحلة الثالثة أو الرابعة و الحصول على نتائج الإزاحات و ردود الأفعال عن عند مراكز عناصر إلتصاق التربة باللبشة يتم تحويل النظام كله إلى نظام آخر مكافىء عبارة عن لبشه مرتكزة على springs وذلك عن طريق تحويل مصفوفة الجساءات لمصفوفة قطرية حيث يتم قسمة كل رد فعل على الإزاحة المناظره له لإيجاد الجساءة المكافئة لكل spring . ثم يتم تقسيم الحمل الكلي إلى أجزاء و يتم الحل نتيجة إضافة كل جزء و بعد الحصول على نتائج الإزاحات يتم تحديث قيم الجساءات في المصفوفة القطرية عن طريق إدخال قيم الإزاحات في معادلات التصرف اللاخطي للحصول على الجساءات المحدثة حيث يتم تمثيل التصرف اللاخطي للتربة و الخوازيق ب Hyperbolic function. و يتم تمثيل التصرف اللاخطي بمعرفة الجساءات الأولية لعناصر التربة الملاصقة للبشة و الخوازيق و كذلك معرفة الإجهاد الأقصى لعناصر التربة و الحمل الأقصى لتحمل الخازوق. و الجساءات الأولية هي القيم الأولية المحسوبة في المصفوفة القطرية و يتم إيجاد الإجهادات و الأحمال القصوى للتربة و الخوازيق عن طريق الإختبارات الحقلية و المعملية و أيضا من خلال معادلات الكود في حالة عدم توفر نتائج الإختبارات. و يتم تكرار عملية الحل و تحديث

الجساءات لكل جزء مضاف من الحمل حتى الحصول على تفاوت مسموح به في قيم الإزاحات. مع العلم أنه في كل مر يتم فيها الحل يتم مقارنة ردود الأفعال بالقيم القصوى المحسوبة مسبقا و في حالة أحد عناصر التربة أو الخوازيق للحد الأقصى يتم وضع رد فعل مكافىء للحد الأقصى و وضع قيمة صفرية للجساءة المناظرة له في مصفوفة الجساءات القطرية. و يتم تكرار هذه العمل حتى الوصل إلى إنهيار كل عناصر التربة و الخوازيق أو الوصول إلى كامل الحمل.