الجمهورية العربيَّة السُوريَّة

جامعة دمشق

كليِّة طب الأسنان

قسم تقويم الأسنان و الفكين

تأثير القوى النَّاتجة عن حزام الرَّأس على المركب القحفي الوجهي باستخدام تقنية تحليل العناصر المنتهية

The Headgear's Forces Effect on The Craniofacial Complex Using The Finite Element Analysis Technique

أطروحة قدِّمت إلى جامعة دمشق لنيل درجة الماجستير في تقويم الأسنان و الفكين

إعداد الباحثة : ناديا محمود قاطوع

إشراف

المدَّرس الدُّكتور لؤي مهايني

مدَّرس في قسم تقويم الأسنان والفكين –جامعة دمشق

المشرف المشارك

الدُّكتور محمد بسام أبو حرب

مدَّرس في كليِّة الهندسة الميكانيكية و الكهربائية– جامعة دمشق

1435- 2014

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿قالو سبحانك لا علم لنا إلّا ما علّمتنا

إنّك أنت العليم الحكيم﴾

صدق الله العظيم

تصريح

لا يوجد أي جزء من هذه الأطروحة تَّم أخذه بالكامل من عمل آخر أو أنجز للحصول على شهادة أخرى في هذه الجامعة أو في أي جامعة أخرى أو أي معهد تعليمي.

الإهداء

إلى من كان له الفضل الكبير، وأفخر به وأنحني أمام تضحياته وتفانيه.

أبي العزيز

إلى من أوفق برضائها وأرتقي بدعائها ومنحت كلّ الحب والحنان.

أمي الحبيبة

إلى رفيق دربي الذي شاركني لحظاتي عسراً ويسراً، وكان لي سنداً وعوناً.

زوجي

إلى من أعتز بهم وأقوى بوجودهم والى من أشتاق.

أخوتي

إلى فرحتي وزينتي في الحياة الدّنيا.

كريم

إلى من شاركني فرحي وهمومي.

أصدقائي

أهدي ثمرة عملي المتواضع..

كلمة شكر و عرفان

الحمد لله تعالى نشكره على ما امتَّن به علينا من نعم لا تعدّ و لا تحصى و الصَّلاة على نبيه الأميّ خير معلم علم الأمم من بعده فقال (لا يشكر الله من لا يشكر النّاس) ،أمّا بعد:

فإنّي أقف وقفة شكر وتقدير لكلّ من ساهم في إنجاز هذا البحث ، مبتدئةً بأستاذي الفاضل **المدّرس الدّكتور لؤي مهايني** الذي بذل الكثير من الوقت والجهد في متابعة هذا البحث، وأمدَّني بالنّصح والمشورة فكان له في كلّ حرف من حروفه أثر، و له عظيم الفضل في إتمامه و إخراجه على الوجه الأمثل، فله مني فائق الشُّكر والاحترام.

كما أتوجَّه إلى **المدَّرس الدُّكتور محمد بسام أبو حرب** في كليَّة الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق الذي قدَّم لي من وقته وعلمه ومعرفته الكثير وتابع البحث خطوة بخطوة، وكان لتوجيهاته الأثر الكبير في إغناء و إنجاز هذا البحث، فله مني أسمى آيات الشُّكر والعرفان.

كما أتوجَّه بالشُّكر إلى عضو لجنة التَّحكيم **المدَّرس الدَّكتور محمد فتحي غنمة** في قسم هندسة التَّصميم الميكانيكي كليَّة الهندسة الميكانيكية والكهربائية جامعة دمشق لتفضَّله بقبول المشاركة في تحكيم هذه الرِّسالة ولتقديمه النُّصح والملاحظات القيمة، و قدَّم قيمةً وثراءً بوجوده في لجنة الحكم بما له من خبرة علمية و مكانة أكاديمية فذَّة.

والشُّكر الجزيل أيضاً **للمدَّرسة الدُّكتورة كندة سلطان** التي قبلت مشكورةً تحكيم هذا البحث، و وجهتني وساعدتني في سنوات الدَّراسة ولم تبخل بوقتها وجهدها ومعلوماتها لتقديم العون والمشورة.

كما أخصُّ بالشُّكر **الأستاذة الدُّكتورة رزان خطاب** – عميد كليّة طب الأسنان – جامعة دمشق التي كان لها عظيم الأثر في سنوات الدِّراسة وطالما حثَّتنا وشجعتنا ولم تبخل علينا بالعون والمشورة فلها جزيل الشُّكر. وكلِّ الشُّكر إلى **الأستاذ الدُّكتور إياد الشَّعراني** وكيل كلية طب الأسنان للشُّؤون العلمية وإلى **الأستاذ الدُّكتور ياسر المدلل** وكيل كلية طب الأسنان للشُّؤون الإدارية لدعمهما مسيرة البحث العلمي.

و أتوجَّه بالشُّكر **للمدَّرسة الدُّكتورة رانيا حداد** – رئيس قسم تقويم الأسنان والفكين وجميع أساتذة قسم التَّقويم الذين أضاؤوا أمامي درب العلم و المعرفة، ولم يبخلوا يوماً عليّ، فكانوا الشَّجرة التي قطفت منها ثمار العلم و التي أظلتني بفيئها إلى أن وصلت إلى هذه اللَّحظة.

كما وأتقدَّم بالشُّكر الجزيل إلى المهندس **وائل الخطيب** و فني الأشعة **فراس جنح** على ما قدموه لي من مساعدة كان لها الأثر الكبير في نجاح هذا البحث . والشُّكر الجزيل إلى **الأستاذ قصي الخطيب** الذي قام بالتَّدقيق اللُّغوي لهذه الأطروحة.

وأتقدَّم بكل الشُّكر والامتنان والتَّقدير لطلاب الماجستير والدّكتوراه في كلية طب الأسنان ولا سيما في قسم تقويم الأسنان والفكين وأخصُّ بالذِّكر الزُّملاء **يونس عبد النَّبي، بشرى الرَّاضي، دعاء حابس ، عمر المكّي** و إلى كافة موظفي كليّة طب الأسنان في جامعة دمشق.

فهرس المحتويات:

المقدمة	**11**
هدف البحث	**13**
الباب الأول : المراجعة النظرية	**14**
1-1- لمحة عن معالجة سوء الإطباق من الصنف الثاني	**15**
1-2- حزام الرأس	**16**
1-2-1- لمحة تاريخية	**16**
1-2-2-أنماط حزام الرأس	**18**
1-2-3-أنماط الشد	**21**
1-2-3-1-حزام الرأس عالي الشد	**21**
1-2-3-2-حزام الرأس ذو الشد العنقي	**23**
1-2-3-3-حزام الرأس ذو الشد المستقيم	**25**
1-2-4-التطبيقات السريرية لقوى حزام الرأس	**27**
1-2-4-1-السيطرة على الإرساء	**27**
1-2-4-2-تحريك الأسنان	**28**
1-2-4-3-التأثيرات الهيكلية	**29**
1-2-4-4-السيطرة على ميلان مستوى الإطباق	**31**
1-2-5-مقدار القوة المطبقة ومدتها	**31**

1-3-طريقة العناصر المنتهية 33

1-3-1-تاريخ استخدام العناصر المنتهية في طب الأسنان 34

1-3-2-تطبيقات طريقة العناصر المنتهية 37

1-3-3-فوائد طريقة العناصر المنتهية 39

1-3-4-محدودية طريقة العناصر المنتهية 40

1-3-5-معلومات فيزيائية ميكانيكية عامة 40

1-3-6-مراحل العمل بواسطة العناصر المنتهية 44

1-3-6-1-ماقبل المعالجة 45

1-3-6-1-1-بناء النموذج الهندسي 45

1-3-6-1-2-تحويل النموذج الهندسي إلى نموذج من العناصر المنتهية 46

1-3-6-1-3-تمثيل خواص المواد 47

1-3-6-1-4-تعريف الشروط الحدية 47

1-3-6-1-5-تطبيق الحمولة 48

1-3-6-2-المعالجة 48

1-3-6-3-ما بعد المعالجة 48

1-3-7-دراسات بتقنية العناصر المنتهية في التقويم 49

الباب الثاني : مواد وطرائق البحث 60

2-1- تصميم الدراسة 61

2-2- العينة 61

2-3- المواد والطرائق 61

2-3-1- المواد المستخدمة في البحث 61

2-3-1-1- صورة طبقي محوري محوسب 61

2-3-1-2- جهاز حاسوب مواصفاته 62

2-3-1-3-برنامج هندسي خاص MIMICS 62

2-3-1-4-برنامج هندسي خاصGeomagic studio 62

2-3-1-5-برنامج هندسي خاص Unigraphics 62

2-3-1-6-برنامج هندسي خاص ANSYS 63

2-3-2- طرائق البحث 63

2-3-2-1- تصميم النموذج ثلاثي الأبعاد الخاص بتحليل العناصر المنتهية للجمجمة63

2-3-2-1-1-الحصول على صورة CT 64

2-3-2-1-2-معالجة الصور الطبية 65

2-3-2-1-3- تحويل النموذج السطحي إلى نموذج سطح NURBS 67

2-3-2-1-4-تحويل نموذج سطح NURBS إلى نموذج مجسم 70

2-3-2-2-الحصول على نموذج العناصر المنتهية 70

الباب الثالث : النتائج 79

3-1- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون 80

3-2- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون 82

3-3- مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون 85

3-4- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون 88

3-5- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون 91

3-6- مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون 94

3-7- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون 97

3-8- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون 100

3-9- مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون 102

الباب الرابع : المناقشة 110

4-1- مناقشة طريقة العمل 111

4-2-مناقشة النتائج 113

4-2-1-مناقشة التغيرات على بنى الفك العلوي 113

4-2-2-مناقشة التغيرات على جدران حفرة الأنف وعظم الأنف 116

4-2-3-مناقشة التغيرات على العظم الوجني 117

4-2-4-مناقشة التغيرات على العظم الجبهي 117

4-2-5-مناقشة التغيرات على العظم الصدغي 118

4-2-6-مناقشة التغيرات على القسم الحجاجي من الجناح الكبير و الصغير للعظم الوتدي 119

الباب الخامس : الاستنتاجات 120

الباب السادس : المقترحات و التوصيات 123

6-1-المقترحات 124

6-2-التوصيات 125

الباب السابع : المراجع 126

الخلاصة باللغة العربية 142

الخلاصة باللغة الأجنبية 144

قائمة الجداول :

الجدول (2-1) حساب مركِّبتي القوة على المحاور Y,Z	76
الجدول (2-2) حساب مركِّبتي القوة على المحاور Y,Z	77
الجدول (2-3) المتغيرات القحفية المدروسة	78
الجدول (3-1) مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون	80
الجدول (3-2) مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون	82
الجدول (3-3)مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون	85
الجدول (3-4) مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون	88
الجدول (3-5) نمط الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون	91
الجدول (3-6)مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون	94
الجدول (3-7) مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون	97
الجدول (3-8) مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون	100
الجدول (3-9)مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون	102

قائمة الأشكال :

الشَّكل(1-1) تصميم حزام الرَّأس العنقي ل Kloehn	17
الشَّكل(1-2) القوس الوجهي ل Kloehn	17
الشَّكل(1-3) حزام الرَّأس مع خطافات J ، A الشَّد المستقيم ، B الشَّد العالي	19
الشَّكل(1-4) حزام interlandi	20
الشَّكل(1-5) ربط خطافات J مع الفك العلوي والسُّفلي معاً	21
الشَّكل (1-6) حزام الرَّأس عالي الشَّد	22
الشَّكل(1-7) نموذج الفك السُّفلي المستخدم في دراسة Ulusoy and Darendeliler	23

الشَّكل(1–8) حزام الرَّأس ذو الشَّد العنقي	23
الشَّكل(1–9)حزام الرَّأس المشترك	26
الشَّكل(1–10) شبكة العناصر المنتهية صممت لتحاكي الوجه التَّجميلي السِّيراميكي	36
الشَّكل(1–11) منحنى الإجهاد – انفعال	42
الشكل(1–12) إخضاع اسطوانة لقوة شد	44
الشَّكل(1–13)تطبيق الحمولة في أماكن مختلفة من الشَّكل	48
الشَّكل(1–14) النَّموذج المستخدم في دراسة Tanne, Matsubara et al. 1993	50
الشَّكل(1–15) النَّموذج المستخدم في دراسة Tanne and Matsubara 1996	51
الشَّكل(1–16)النَّموذج المستخدم في دراسة İşeri, Tekkaya et al. 1998	52
الشَّكل(1–17) النَّموذج المستخدم في دراسة Jafari, Shetty et al. 2003	53
الشَّكل(1–18)النَّموذج المستخدم في دراسة Katada, Katada et al. 2005	54
الشَّكل(1–19) النَّموذج المستخدم في دراسة Holberg, Mahaini et al. 2007	55
الشَّكل(1–20) النَّموذج المستخدم في دراسة Holberg, Holberg et al. 2008	56
الشَّكل(1–21) النَّموذج المستخدم في دراسة Gautam, Valiathan et al. 2009	57
الشَّكل(1–22) النَّموذج المستخدم في دراسة Panigrahi and Vineeth 2009	58
الشَّكل(1–23) تطبيق القوى في دراسة Panigrahi and Vineeth 2009	59
الشَّكل(2–1) مراحل بناء نموذج العناصر المنتهية	64
الشَّكل(2–2) صورة الطبقي المحوري المحوسب	65
الشَّكل(2–3) يوضِّح الفرق في الدِّقة بين صورة CT في اليسار و صورة micro CT في اليمين من حيث القدرة على تمييز الرِّباط حول السِّني	66
الشَّكل(2–4) النموذج السطحي الذي تم الحصول عليه من برنامج MIMICS والمستخدم في البحث	67
الشَّكل(2–5) النَّموذج بعد تقسيمه إلى مناطق صغيرة بواسطة برنامج Geomagic studio	68
الشَّكل(2–6) نموذج سطح NURBS الذي تمَّ الحصول عليه بواسطة برنامج Geomagic studio و المستخدم في البحث	69
الشَّكل(2–7) نموذج مجسم solid الذي تمَّ الحصول عليه من خلال برنامج Unigraphics والمستخدم في البحث	70
الشَّكل(2–8) النَّموذج المستخدم في البحث في برنامج العناصر المنتهية	71
الشَّكل(2–9) النَّموذج المستخدم في البحث في برنامج العناصر المنتهية	71
الشَّكل(2–10) النَّموذج المستخدم في البحث في برنامج العناصر المنتهية	72
الشَّكل(2–11) تقطيع النَّموذج إلى عناصر صغيرة	73

الشكل(2-12) نموذج العناصر المنتهية المستخدم في البحث	73
الشَّكل(2-13) أماكن التَّثبيت في العقد الموجودة في النُّقبة الكبرى	74
الشَّكل(2-14) مكان تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم	74
الشَّكل(2-15) حامل القوة في حالة الشَّد المستقيم	75
الشَّكل(2-16) حامل القوة في حالة الشَّد العنقي	76
الشَّكل(2-17) حامل القوة في حالة الشَّد العالي	77
الشَّكل(3-1)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار5 نيوتن	81
الشَّكل(3-2)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار5 نيوتن	81
الشَّكل(3-3)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار5 نيوتن	82
الشَّكل(3-4)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 10 نيوتن	84
الشَّكل(3-5)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 10 نيوتن	84
الشَّكل(3-6)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 10 نيوتن	85
الشَّكل(3-7) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد المستقيم على المحور X	87
الشَّكل(3-8) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد المستقيم على المحور Y	87
الشَّكل(3-9) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد المستقيم على المحور Z	88
الشَّكل(3-10)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5 نيوتن	90
الشَّكل(3-11)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5 نيوتن	90
الشَّكل(3-12)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5 نيوتن	91
الشَّكل(3-13)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 10 نيوتن	92
الشَّكل(3-14)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 10	93

نيوتن	
الشَّكل(3-15)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 10 نيوتن	93
الشَّكل(3-16) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد العالي على المحور X	95
الشَّكل(3-17) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد العالي على المحور Y	96
الشَّكل(3-18) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد العالي على المحور Z	96
الشَّكل(3-19)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 نيوتن	98
الشَّكل(3-20)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 نيوتن	99
الشَّكل(3-21)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 نيوتن	99
الشَّكل(3-22)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 10 نيوتن	101
الشَّكل(3-23)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 10 نيوتن	101
الشَّكل(3-24)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 10 نيوتن	102
الشَّكل(3-25) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن القوة 5-10 نيوتن الممثلة للشَّد المنخفض على المحور X	104
الشَّكل(3-26) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن القوة 5-10 نيوتن الممثلة للشَّد المنخفض على المحور Y	104
الشَّكل(3-27) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن القوة 5-10 نيوتن الممثلة للشَّد المنخفض على المحور Z	105
الشَّكل(3-28) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 5 نيوتن على المحور X	106
الشَّكل(3-29) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 5 نيوتن على المحور Y	106
الشَّكل(3-30) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 5 نيوتن على المحور Z	107

الشَّكل(3–31) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 10 نيوتن على المحور X	108
الشَّكل(3–32) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 10 نيوتن على المحور Y	108
الشَّكل(3–33) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 10 نيوتن على المحور Z	109

المقدِّمة Introduction :

تناولت العديد من الدِّراسات التَّجريبية والسَّريريَّة تأثير نمط الشَّد لحزام الرَّأس على المركب القحفي الوجهي، وأثبتت هذه الدِّراسات أن نتائج المعالجة بقوى حزام الرَّأس تختلف باختلاف اتجاه الشَّد، فالشَّد العنقي يسبب حركة للفك العلوي نحو الأسفل والخلف وبالتَّالي فهو يعارض النُّمو الأمامي ويعزز النُّمو نحو الأسفل (Merrifield and Cross 1970)، أما الشَّد العالي يعتبر أفضل طريقة لعلاج المرضى ذوو العضَّة المفتوحة ولكنَّه أقل قدرة على التَّأثير في دروز الفك العلوي في الاتجاه الأمامي الخلفي من الشَّد العنقي (Brown 1978).

لقد كانت نتائج الدِّراسات السَّريريَّة قاصرة ومحدودة وغير قادرة على تفسير التَّأثيرات الميكانيكيَّة الحيويَّة على المركب القحفي الوجهي (Gautam, Valiathan et al. 2009) وأصبحت فكرة إمكانية كبح النُّمو للمركب الفكي الأنفي بواسطة تطبيق القوى التَّقويمية لحزام الرَّأس أمراً مشكوكاً فيه بعض الشَّيء في الأدب الطِّبي، حيث تكمن المشكلة في إثبات التَّأثير الهيكلي للقوى التَّقويمية النَّاتجة عن حزام الرَّأس في صعوبة التَّمييز بين تأثيره وبين النُّمو الطَّبيعي، ويمكن أن نتخلص من هذه المشكلة في حال وجود عينة شاهدة تقارب في تركيبها العينة التَّجريبية من حيث العمر والجنس ونمط الشُّذوذ الفموي(Holberg, Holberg et al. 2008).

حديثاً حصل انتشار لتقنية العناصر المنتهية Finite element method (FEM) التي كانت تستخدم بنجاح لدراسة ميكانيكية الضُّغوط والتَّوترات في الهندسة (Huiskes and Chao 1983)، وأصبحت تستخدم لتقييم التَّأثيرات الميكانيكية الحيوية كالانتقالات والإجهادات والانفعالات في البنى الحيويَّة عند تطبيق قوى خارجية متنوعة، ولكن تعتمد نتائج طريقة العناصر المنتهية في دقتها على دقة عملية النَّمذجة حيث كان نموذج العناصر المنتهية ذو

الدِّقة المنخفضة يشكل عائق رئيسي في الدِّراسات السَّابقة(Tanne, Hiraga et al.1989) (Tanne and Sakuda 1991)

في هذه الدِّارسة حاولنا تقديم نموذج من العناصر المنتهية ذو دقة عالية و أكثر قرباً من الجمجمة البشرية وبالتَّالي حصلنا على تمثيل أفضل لنمط الانتقال في المركب القحفي الوجهي مقارنة مع الدِّراسات السابقة .

هدف البحث Aim of study :

تتلخَّص أهداف البحث بما يلي :

1. دراسة العلاقة بين نمط الشَّد و استجابة المركب القحفي الوجهي وذلك باستخدام تقنية تحليل العناصر المنتهية .

2. دراسة العلاقة بين شدة القوى النَّاتجة عن حزام الرَّأس بأنماطه المختلفة واستجابة المركب القحفي الوجهي وذلك باستخدام تقنية تحليل العناصر المنتهية.

الــبَــابُ الأوَّل :

المراجعة النَّظريَّة

Literature Review

1-1- لمحة عن معالجة سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني :

هناك الكثير من الاحتمالات لمعالجة سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني ومن هذه الاحتمالات كبح نمو الفك العلوي – إعادة توجيه نمو الفك العلوي – تحريك الفك العلوي وحشياً– تحريض نمو الفك السُّفلي – السَّماح للنُّمو الطَّبيعي بالتعبير عن نفسه سريرياً وذلك بإزالة المعاوضات السِّنيَّة – تحريك الأسنان الخلفية العلوية وحشياً– إمالة الأسنان الخلفية العلوية للوحشي – إرجاع الأسنان الأمامية العلوية بعد إرجاع الأرحاء أو القلع – تحريك الأسنان الخلفية السُّفلية للأمام بعد القلع – تدوير الفك السُّفلي عكس عقارب السَّاعة (فيقلُّ الارتفاع الوجهي الأمامي السُّفلي وتتحسَّن علاقة الصِّنف الثَّاني) (Nanda,1997)

تتضمَّن الوسائل العلاجية المستخدمة في تصحيح سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني الأجهزة الثَّابتة، أجهزة الشَّد بالقوى الخارج فموية، أجهزة توسيع القوس، المعالجة بالقلع، الأجهزة الوظيفية (McNamara Jr, Peterson Jr et al. 1996)، كلُّ نوع من هذه الطُّرق يختلف عن الآخر بتأثيره على البنى الهيكلية في المركب القحفي الوجهي بما فيها تسريع النُّمو أو كبحه في هذه البنى الهيكلية (McNamara Jr 1981).

ركزَّت العديد من الدِّراسات عند معالجة سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني على المرضى بعمر المراهقة أو اليافعين (Wylie 1947)، وأكدَّت الدِّراسات على أن الوسيلة الأكثر استخداماً لمعالجة البروز الهيكلي للفك العلوي هي استخدام القوى الخارج فموية .(Graber,2013)

1-2- حزام الرَّأس headgear:

1-2-1- لمحة تاريخيَّة :

إنَّ استخدام القوى الخارج فموية لتعديل نمو الفك العلوي له تاريخ طويل يعود إلى Kingsley و Angle في القرن التَّاسع عشر، كلَّاهما استخدم حزام الرَّأس العنقي لإرجاع وغرز القواطع العلوية بعد قلع الضواحك الأولى (McNamara,2002) .

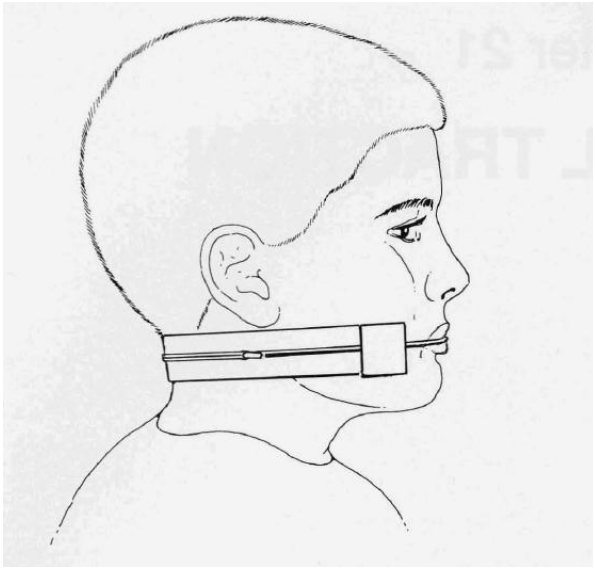
في عام 1920 أكدَّ Angle وأتباعه بأنَّ المطاط بين الفكي لا يقوم بتحريك الأسنان فقط ولكنَّه قد يسبب أيضاً تغيرات هيكلية هامَّة تحفز نمو فك وتكبح الآخر، وبالتَّالي فلم يعد المريض يرغب بارتداء أجهزة القوى الخارج فموية ولم يعد هناك سبب لبدء المعالجة قبل مرحلة الإطباق الدَّائم، ولكن في عام 1940 وبعد إجراء أوَّل صورة سيفالومترية ثبت بطلان فكرة حدوث تغيرات هيكلية هامَّة بسبب القوى الدَّاخل فموية (proffit,2007).

قام Oppenheim بنشر مقالة عام 1936 أحيت فكرة استخدام حزام الرَّأس مجدَّداً في المعالجة (Oppenheim 1936) ، وأعاد مع Silas Kloehn انعاش الاهتمام بحزام الرَّأس (Kloehn 1961) حيث اقترحوا استخدام القوى الخارج فموية من أجل تحريك الأسنان وحشياً (McNamara Jr, Peterson Jr et al. 1996) (McNamara,2002) (proffit,2007)

قام Kloehn بالعديد من التَّعديلات على تصميم حزام الرَّأس حيث استخدم الشَّريط العنقي فقط كأساس في الشَّد (الشَّكل1-1) ومن أجل سيطرة تامَّة على الأرحاء فإن هذا يتطلب معاملة خاصَّة للأذرع الخارجية للقوس الوجهي والتي لا يمكن الحصول عليها عندما تكون الأذرع الخارجية للقوس الوجهي المستخدم قصيرة (الشَّكل1-2)، وأصبحت تقنية Kloehn

تشكِّل أساس المعالجة الحالية باستخدام القوس الوجهي

(McNamara Jr, Peterson Jr et al. 1996)(McNamara,2002)



الشَّكل(1-1) تصميم حزام الرَّأس العنقي ل Kloehn (McNamara,2002)



الشَّكل(1-2) القوس الوجهي ل Kloehn (McNamara,2002)

وفي عام 1948 قام Epstein بمتابعة الشَّد خارج الفموي عند 12 مريض ولمدة شهر فلاحظ حركة رحوية وحشية إيجابية، ولكن بدون تبدلات في الفك العلوي بسبب استخدامه لقوى خفيفة جداً(Epstein 1948)

أظهرت الدِّراسات الشُّعاعية السِّيفالومترية للمرضى الذين عولجوا بحزام الرَّأس نمط Kloehn مع الشَّريط العنقي وقوى خفيفة نسبياً (300–400 غ) أظهرت حدوث تغييرات هيكلية على شكل إعادة توجيه للعلاقة الفكية (Wieslander and Tandläkare 1963) وأكدَّت التَّجارب حدوث آثار هيكلية كبيرة عند زيادة مستوى القوة التي اقترحها Kloehn وبالتَّالي فقد تطَّلب هذا توجيه الشَّد نحو الأعلى لمنع الحركة الزَّائدة للفك العلوي نحو الأسفل و الدَّوران التَّالي نحو الأسفل و الخلف للفك السُّفلي (Armstrong 1971)

1-2-2- أنماط حزام الرَّأس:

تقسم أجهزة القوى الخارج فموية إلى نمطين : أقواس وجهية وحزام الرَّأس مع خطافات على شكل J (Graber,2013) (McNamara,2002) .

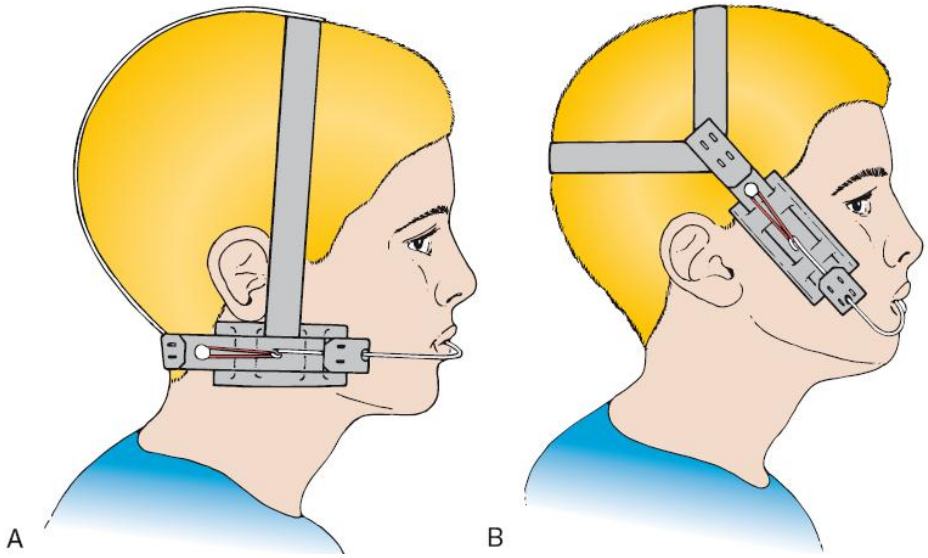
النَّمط الأوَّل والشَّائع من حزام الرَّأس هو القوس الوجهي facebow وهو عبارة عن إطار سلكي يتَّألف من قوس خارجي من أجل الوصلة خارج الفموية ملحومة مع القوس الدَّاخلي الذي يتَّصل داخل الفم مع أنابيب ملصقة على أطواق الأرحاء الأولى العلوية الدَّائمة .(Bishara,2001)

هذا النَّمط هو الأكثر استعمالاً بين نمطي حزام الرَّأس بسبب إمكانيّة استخدامه مع الأجهزة المتحركة والثَّابتة العلوية ويمكن أن نحصل على العديد من القوى وباتجاهات مختلفة بناءً على تزوي وطول القوس الخارجية (Nanda,1997) .

النَّمط الثَّاني من حزام الرَّأس هو المزوَّد بخطافات على شكل J وهو عبارة عن قوسين منفصلين منحنيين يوجد في نهايتيهما خطافات تتصل مباشرة مع الجزء الأمامي من القوس

السِّلكية العلوية(Bishara,2001) يستخدم هذا النَّمط بشكل شائع من أجل إرجاع القواطع العلوية البارزة وذلك باستخدام إما الشَّد المستقيم أو الشَّد العالي مع خطافات J (الشَّكل1-3) (McNamara,2002) (Graber,2013)

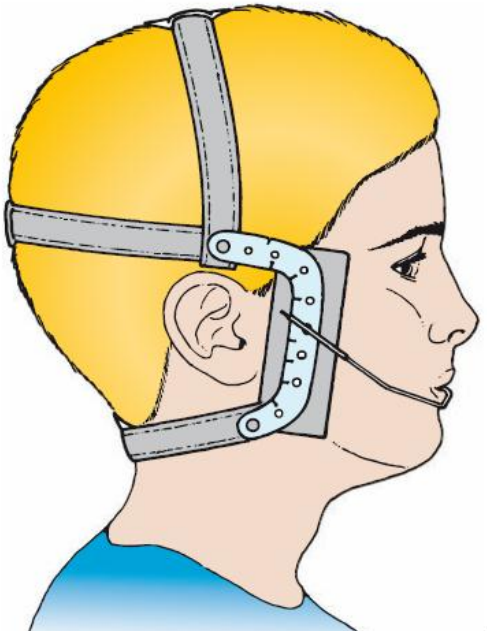
ولابد من وجود الأجهزة الثَّابتة العلوية مع أقواس سلكية مستمرة عند استخدام هذا النَّمط، تكون نقطة الارتباط داخل الفموية مع القوس السِّلكية العلوية مباشرةً (Bishara,2001)



الشَّكل (1-3) حزام الرَّأس مع خطافات J ، A الشَّد المستقيم ، B الشَّد العالي (Graber,2013)

وهناك حزام الرَّأس القابل للتَّغيير Variable-Pull Headgears الذي يقدِّم استخدامه خيارات إضافيَّة للمعالجة مع اتجاهات القوة القابلة للتَّغيير. حزام الرَّأس Interlandi الأصليّ صمِّم من أجل استخدامه مع الأقواس الوجهية، ومن أجل القدرة على تغيير شعاع القوة للقوس الوجهي(الشَّكل1-4)، وقد تمَّ التَّعديل لاحقاً على يد Hickham بإضافة أنابيب معدنية لتلائم خطافات J ووضع وسائد خديَّة لتجنب القوى الجانبية النَّاتجة عن خطافات J

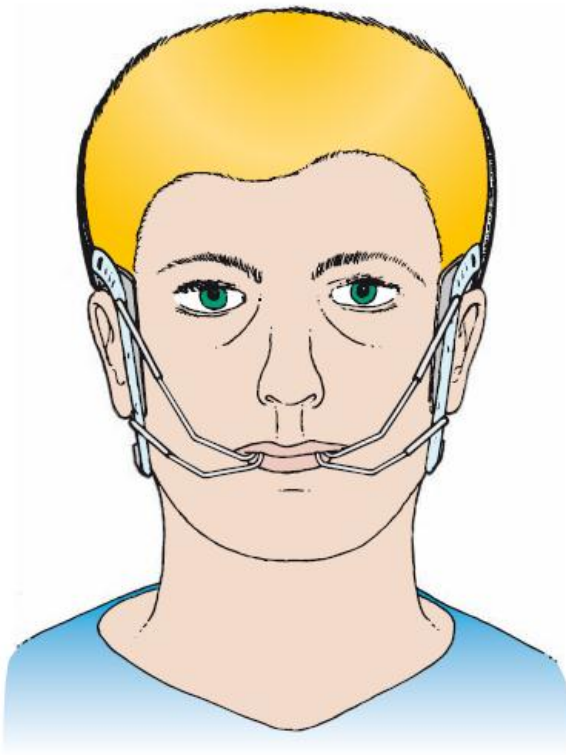
و تمَّ إضافة شريط ثالث لتثبيت قبعة الرَّأس عند تطبيق القوى المختلفة (Alexander 1983) (McNamara,2002)، لكنَّه لا يعتبر مأمون الاستخدام، لذلك لم يعد يستخدم (Nanda,1997)



الشَّكل(1-4) حزام interlandi (Graber,2013)

عند تطبيق خطافات J على الأسنان العلوية باتجاهات قوى مختلفة لإرجاع وغرز القواطع العلوية كان استخدام وحدة الدَّعم بشكل C مناسباً، ومن الممكن استخدام نمط الإرجاع نفسه على القوس السِّنيَّة السُّفلية، بالإضافة إلى إمكانيَّة استخدام خطافات J للفك العلوي والسُّفلي بنفس الوقت (الشَّكل1-5).

فمن الممكن استخدام حزام الرَّأس عالي الشَّد على القوس العلوية و المستقيم على القوس السُّفلية بنفس الوقت (Graber,2013) (McNamara,2002).



الشَّكل(1-5) ربط خطافات J مع الفك العلوي والسُّفلي معاً (Graber,2013)

1-2-3-أنماط الشَّد:

نميَّز حسب نوع الشَّد:

1-2-3-1-حزام الرَّأس عالي الشَّد High pull headgear: يستخدم عند المرضى ذوي الوجه الطَّويل لكبح النُّمو العمودي للفك العلوي، وعند مرضى العضة المفتوحة للسَّيطرة على النَّمو العمودي ولغرز الأرحاء والمساهمة في إغلاق العضة وإحداث دوران للفك السُّفلي نحو الأعلى والأمام (الشَّكل1-6) (Proffit,2007)



الشَّكل (1-6) حزام الرَّأس عالي الشَّد

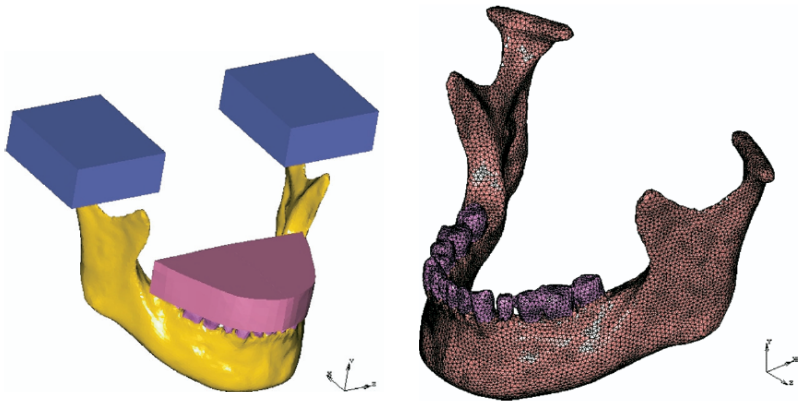
يستخدم عند المرضى الذين لديهم زيادة في البعد العمودي من أجل إنقاصه أو الوقاية من ظهور الزِّيادة .

ومثل أجهزة توجيه النُّمو فإنَّ حزام الرَّأس عالي الشَّد من الممكن أن ينقص النُّمو العمودي للفك العلوي وبذلك يسمح بدوران اتوماتيكي للفك السُّفلي و يزيد من نمو الفك السفلي بالاتجاه الأفقي (Graber,2013).

عندما يستخدم مع خطافات J فإنَّ خط القوة يتوَّضع للأمام من مركز المقاومة وتكون القوة غرز على القواطع العلوية مع قوة غير مباشرة مبزِّغة للأرحاء العلوية كنتيجة للميل الحاصل في مستوى الإطباق (Bishara,2001)

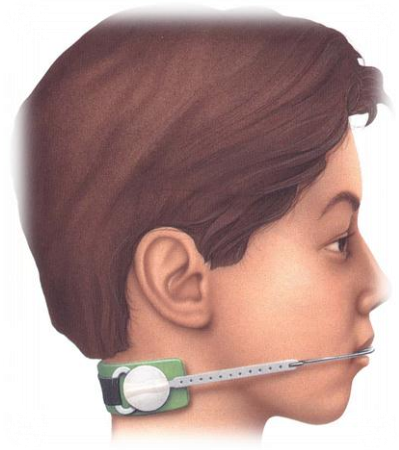
قام Ulusoy and Darendeliler 2008 بدراسة تأثيرات الاكتيفاتور لوحده ومع حزام الرَّأس عالي الشَّد على الفك السُّفلي دراسة ثلاثية الأبعاد بتقنية العناصر المنتهية على الفك السُّفلي (الشَّكل1-7)، كانت المناطق القريبة من ارتباط العضلات هي الأكثر تأثُّراً وكانت أعلى قيم للجهود متركِّزة على القسم الدَّاخلي من النَّاتئ اللُّقمي والمنطقة اللُّقمية، وخلصت

الدِّراسة إلى أنَّ كلا الجهازين قادران على إحداث تغيرات شكليَّة في الفك السُّفلي عن طريق تنشيط العضلات الماضغة وتغيير اتجاه النُّمو (Ulusoy and Darendeliler 2008)



(الشَّكل 1-7) نموذج الفك السُّفلي المستخدم في دراسة Ulusoy and Darendeliler (Ulusoy and Darendeliler 2008)

1-2-3-2-حزام الرَّأس ذو الشَّد العنقي cervical pull headgear: ويدعى أيضاً حزام الرَّأس ذو الشَّد المنخفض يستخدم في حالات الصِّنف الثَّاني لكبح النَّمو في الاتجاه الأمامي للفك العلوي (الشَّكل1-8)، وكذلك عند مرضى الصِّنف الثَّاني الآخذين بالنُّمو مع وجود عضة عميقة ومسافة استرخائية كافية، عندما يكون تصحيح العضة العميقة مخطَّطاً له اعتماداً على التَّبزيغ الخلفي (Nanda,1997).



الشَّكل (1-8) حزام الرَّأس ذو الشَّد العنقي

يستخدم عند المرضى الذين لديهم نقص في البعد العمودي، أكدَّت العديد من الدِّراسات السَّريريَّة بأنَّ استخدام هذا النَّمط من الشَّد من الممكن أن يكبح الحركة الأمامية للفك العلوي بالإضافة إلى قدرته على زيادة البعد العمودي من خلال تبزيغه للأسنان الخلفية(McNamara Jr, Peterson Jr et al. 1996) و/ أو بمنع الحركة الأمامية للأسنان العلوية الخلفية (Kloehn 1961)

حيث أنَّ نقطة الاتصال تحت مستوى الإطباق والقوة الخارج فموية توجَّه نحو الأسفل والخلف، خط القوة هذا يمكن أن يخدم في التَّصحيح الأمامي الخلفي لكنَّه يمكن أن يضخِّم مشاكل الفك العلوي العمودية، بينما عند استخدام نفس الوصلة مع خطافات J تقدِّم إرجاع وتبزيغ للقواطع العلوية، التَّأثيرات المبزِّغة على الأسنان الخلفية تكون ذات تأثيرات عكسيَّة في معالجة الصِّنف الثَّاني الهيكلي لأنَّها تنتج دوران خلفي للفك السُّفلي (Bishara,2001).

قام Lima Filho, Lima و زملاؤه بدراسة طويلة الأمد للتَّغيرات الأمامية الخلفية والعمودية على الفك العلوي عند المرضى ذوي سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني المعالجين بحزام الرَّأس العنقي نمط Kloehn ولوحظ حدوث نجاح في تصحيح سوء الإطباق والذي كان مرتبطاً بشدة مع عمر المريض، إنَّ المعالجة باستخدام حزام الرَّأس العنقي نمط Kloehn مع قوس خارجي مرتفع وقوس داخلي موَّسع كانت مفيدة جداً في تصحيح الخلل الهيكلي من الصِّنف الثَّاني في المرحلة المتأخرة من الإطباق المختلط والمرحلة المبكرة من الإطباق الدَّائم بسبب إمكانية إرجاع الفك العلوي بحد ذاته للخلف بالنِّسبة لقاعدة القحف، بعد المعالجة لوحظ حدوث نقص في بروز الفك العلوي وزيادة في زاوية الفك العلوي مع قاعدة القحف، بعد 10

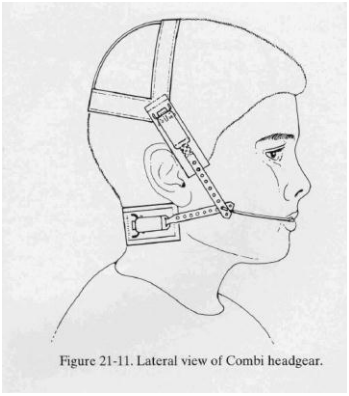
سنوات ظلَّت العلاقات الهيكلية والسِّنيَّة ثابتة مع حدوث نقص في زاوية الفك العلوي مع قاعدة القحف (Lima Filho, Lima et al. 2003)

وفي دراسة Polat-Ozsoy, Gokcelik وزملائه لمعرفة تأثير حزام الرَّأس العنقي على النُّسج الرَّخوة بالمقارنة مع جهاز Pendelum مع عروة k من الدِّهليزي من أجل إرجاع الأرحاء، تمَّ تطبيق قوة 400 غ وتمَّ التَّوصية بارتداء الجهاز لمدة 16-20 ساعة في اليوم، تبيَّن حدوث تراجع في النُّسج الرَّخوة والأسنان والفك بشكل دال إحصائيَّاً مع عدم حدوث ذلك في الجهاز الآخر(Polat-Ozsoy, Gokcelik et al. 2008).

وفي دراسة آخرى Kirjavainen, Hurmerinta لتقييم تأثير المعالجة المبكرة بواسطة حزام الرَّأس العنقي على بروفيل الوجه عند الأطفال ذوي سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني نموذج أوَّل، تمَّ تطبيق قوة 500 غ في كلِّ جانب، والتَّوصية بارتداء الجهاز 12-14 ساعة ليلاً، تمَّ الحصول على علاقات للأرحاء من الصِّنف الأوَّل وحصل كبح للنُّمو الأمامي للفك العلوي و نقصان زاوية SNA وحدث نقصان في تقدُّم الفك العلوي وبالتَّالي نقص تحدُّب الوجه وحدث نقصان في الفراغ بين الشَّفتين في وضع الرَّاحة وزيادة في الزَّاوية الأنفية الشَّفوية بينما تابع الفك السُّفلي نموَّه نحو الأمام بمعدَّل طبيعي (Kirjavainen, Hurmerinta et al. 2007).

1-2-3-3-حزام الرَّأس ذو الشَّد المستقيم Straight pull headgear: يستطب من أجل إعادة توجيه النُّمو الأفقي للفك العلوي عند مرضى الصِّنف الثَّاني و/أو من أجل تحريك الأرحاء العلوية وحشياً بحركة جسمية دون ميلان أو تبزيغ (Nanda,1997)

نحصل عليه عند وصل القوس الوجهي مع الشَّريط العنقي وقبعة الرأس ويطلق عليه حزام الرَّأس ذو الشَّد المستقيم أو المشترك (Graber,2013) (الشَّكل1-9)، يستخدم لتوزيع القوة خارج الفموية على سطح أكبر، من ميزاته السُّهولة في تعديل خط القوة والتَّحمل المريح للجهاز بسبب زيادة مساحة سطح التَّوزيع ولكنَّ سيئته زيادة عدد الأجزاء التي يجب على المريض أن يرتديها، صعوبة التَّدبير، احتمال الضَّياع مما يجعل التَّعاون تحدياً(Bishara,2001) .



الشَّكل(1-9)حزام الرَّأس المشترك (MaCnamara,2002)

في دراسة Tortop and Yüksel لتقييم تأثير حزام الرَّأس المشترك في تصحيح علاقة الأرحاء وتقييم أي نكس بعد سنتين من المعالجة، تمَّ تطبيق حزام الرَّأس عند المرضى لمدة 20 ساعة باليوم وبقوة 150 غ لكلٍّ من الوصلة العنقية والشَّد العالي في كلِّ جانب، لوحظ حدوث نقصان في الزَّوايا SNA و ANB وتحدُّب الوجه وتحرُّك للأرحاء والضَّواحك الثَّانية نحو الوحشي أثناء فترة المعالجة التي استمرت 5 أشهر، وبعد سنتين لم يلاحظ أي اختلاف في الزَّوايا ولكن حدث انسلال أنسي للأرحاء والضَّواحك الثَّانية مع ذلك بقيت وحشية بالنِّسبة لبداية المعالجة، تمَّ المحافظة على التغيرات السِّنيَّة والهيكلية بعد المعالجة بحزام الرَّأس

المشترك وهذا يفترض اعتباره وسيلة معقولة من أجل تصحيح علاقات الأرحاء (Tortop and Yüksel 2007).

1-2-4- التَّطبيقات السَّريريَّة لقوى حزام الرَّأس :

يوجد أربعة استخدامات رئيسيَّة لقوى حزام الرَّأس في معالجة سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني (Nanda,1997) :

1- الإرساء.

2- تحريك الأسنان.

3- التَّأثيرات الهيكلية.

4- السَّيطرة على ميلان مستوى الإطباق.

1-2-4-1- الإرساء : في حالات القلع مع سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني يمكن أن يقوم حزام الرَّأس بدور كبير في منع انسلال القطاعات الجانبية أثناء إرجاع القطاع الأمامي، بالإضافة إلى دوره في السَّيطرة على التَّأثيرات الجانبية غير المرغوبة عند إغلاق الفراغات باستخدام الطُّرق داخل الفموية والتي قد تتظاهر بتبزيغ للأرحاء، ومن الممكن استخدام حزام الرَّأس عند المرضى المتعاونين من أجل الحفاظ على العرض بين الرَّحوي من أي قوى دهليزية لسانية غير مرغوبة عند استخدام الآليات الدَّاخل فموية، وبالتَّالي من الممكن الاستغناء عن القوس الحنكي عند المرضى المتعاونين عند استخدام حزام الرَّأس لأغراض آخرى (Nanda,1997).

ولكنَّ الدِّراسات الحديثة تدعم استخدام الزُّريعات وتفضِّلها على حزام الرَّأس في السَّيطرة على الإرساء ففي دراسة Li, Hu وزملائه الذين قاموا بمراجعة منهجيَّة للمقارنة بين الزُّريعات وحزام الرَّأس في قدرتها على إرجاع القواطع العلوية، فقد الإرساء، التَّغيرات التَّوضعيَّة للقواطع بالنِّسبة إلى القاعدة العظمية ومدة المعالجة .

خلصت الدِّراسة إلى حدوث فقد في الإرساء عند استخدام الزُّريعات في منتصف الحنك أقل بكثير من مجموعة حزام الرَّأس مع عدم وجود فروق هامَّة في القدرة على إرجاع الأسنان الأمامية، ميلان القواطع العلوية بعد الإرجاع، التَّغير الموضعي للقواطع العلوية بالنِّسبة للقاعدة العظمية ومدة المعالجة . وأكَّدت الدِّراسة على كون الزُّريعات و الزُّريعات الفوقية تقدِّم خياراً جيداً وبديلاً عن حزام الرَّأس مع فقد إرساء أقل (Li, Hu et al. 2011)

1-2-4-2- تحريك الأسنان : أظهرت الدِّراسات السَّريرية حدوث إرجاع للرَّحى الأولى العلوية من دون إمالة عند مرضى سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني عند استخدام حزام الرَّأس وجعل القوة المتوَّلدة عنه أفقية وتمر من مركز مقاومة الرَّحى الأولى العلوية ومع ارتداء الجهاز بمعدل 14 ساعة ليلاً وبشكل مستمر(Nanda,1997)، ولكن أظهرت دراسة Tanne, Sakuda وزملائه التي استخدمت العناصر المنتهية أنَّ مستويات الجهد عند الرِّباط السِّني السَّنخي والعظم والسُّطوح الملاصقة للأسنان تفوق الحدود الفيزيولوجية حتَّى عندما تكون قوى الإمالة خفيفة جداً (Tanne, Sakuda et al. 1987)، لذلك لا يفضل استعمال قوى الإمالة الوحشية بسبب تركُّز مستويات الجهد العالية عند الحافة اللَّثوية وعند ذرى الجذور .(Nanda,1997)

1-2-4-3-التَّأثيرات الهيكلية : في حال مرَّ شعاع القوة النَّاتج عن حزام الرَّأس من خلال مركز مقاومة الفك العلوي وفي حال كان المريض غير البالغ يرتدي حزام الرَّأس 12 ساعة على الأقل ليلاً (من الواجب ارتداؤه 14 ساعة على الأقل من أجل المرضى المراهقين) عندئذٍ من الممكن كبح نمو الفك العلوي بالاتجاه الأمامي (Nanda,1997).

قام Antonarakis and Kiliaridis 2007 بدراسة لتقييم التَّغيرات الهيكلية النَّاتجة عن الأجهزة الوظيفية (اكتيفاتور أو توين بلوك) ومقارنتها بالنَّاتجة عن الشَّد بالقوى خارج الفموية أو المشاركة بينهما عند معالجة المرضى ذوي سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني في طور النُّمو، خلصت النَّتائج إلى وجود تحسُّن بالعلاقة السَّهمية الهيكلية (نقصان ANB) مع كلّ الأجهزة وذلك عند مقارنتها مع المجموعة غير المعالجة، أظهر الاكتيفاتور تأثيراته على الفك السُّفلي (زيادة SNB) أما التوين بلوك فقد أثرَّ على كلا الفكين، أمَّا الشَّد خارج الفموي أظهر تأثيراً على الفك العلوي سواءً لوحده أو بالمشاركة مع الأجهزة الوظيفية الأخرى (Antonarakis and Kiliaridis 2007).

قامت Melsen باستخدام تقنية الزُّريعات لبيورك من أجل دراسة تأثير حزام الرَّأس العنقي على المركب القحفي الوجهي ولتتأكد فيما إذا كان لتزوي القوس الخارجي مع مستوى الإطباق تأثيرات سريريَّة، نصحت باستخدام القوس الخارجي المتزويّ إلى الأعلى عند المرضى الذين لديهم بروز هيكلي للفك العلوي لأنَّها لاحظت حركة للفك العلوي نحو الخلف والأسفل بالنِّسبة إلى قاعدة القحف الأمامية ممَّا أدَّى إلى تصحيح علاقات الأرحاء، ولم تلاحظ وجود تأثيرات مهمَّة على المركب الفكي عند استخدام القوس الخارجي المتزويّ تحت مستوى الإطباق بل لاحظت حدوث إمالة وحشية للأرحاء الأولى العلوية وبالتَّالي فهو قد

يكون ملائم عند المرضى الذين لديهم أرحاء منسلة أو مائلة أنسياً أو كلاهما (Melsen and Enemark 2007) .

قام McNamara وزملاؤه بدراسة سريريَّة راجعة لمقارنة تأثيرات المعالجة النَّاتجة عن حزام الرَّأس العنقي (بالمشاركة مع جهاز ثابت جزئي) والجهاز الوظيفي Frankel 2 ومقارنتها مع عينة شاهدة غير معالجة، أشارت نتائج الدِّراسة أنَّه وبالرُّغم من كون كلّ المظاهر السِّنيَّة والهيكلية لسوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني نموذج أوَّل قد تبَّدلت باتجاه الصِّنف الأوَّل بكلا الطَّريقتين القوس الوجهي وجهاز Frankel 2 إلاَّ أنَّ آليَّة حدوث ذلك مختلفة فبينما يؤثِّر الشَّد العنقي على الفك العلوي بشكل أساسي، فإنَّ جهاز Frankel 2 له تأثيرات أقل على الفك العلوي وتأثيرات أكثر على طول الفك السُّفلي. أظهر المرضى الذين عوُلجوا بجهاز Frankel 2 زيادة في طول الفك السُّفلي والارتفاع الوجهي الأمامي السُّفلي بالمقارنة مع العينة الشَّاهدة وتحرُّك الذَّقن نحو الأمام قليلاً ولوحظ القليل من التَّغيرات على البنى السِّنيَّة والهيكلية للفك العلوي، بينما أظهرت المعالجة بحزام الرَّأس العنقي مع الجهاز الثَّابت تأثيرات مختلفة، كانت معظم التَّغيرات حادثة على مستوى الفك العلوي (كبحت الحركة الأمامية للفك العلوي، حركة وحشية للأرحاء والقواطع العلوية) وذلك بالمقارنة مع العينة الشَّاهدة، ولوحظ حدوث زيادة بسيطة في طول الفك السُّفلي بالرُّغم من تحرُّك الذَّقن نحو الخلف بشكل بسيط في عينة القوس الوجهي نسبياً للعينة الشَّاهدة (McNamara Jr, Peterson Jr et al. 1996) .

في دراسة Boecler وزملائه لتقييم قدرة القوى خارج الفموية بالتَّأثير على شكل الوجه والتَّأثيرات على المستوى العمودي، تمَّ جمع البيانات ل 200 طفل وصنِّفوا ضمن مجموعات

(حزام الرَّأس مستقيم / منخفض الشَّد / بدون حزام الرَّأس) أبدت المجموعات الثَّلاثة تبايناً في النَّتائج التي كانت تشير إلى حدوث تحسُّن في العلاقة بين الفكين العلوي والسُّفلي بالمستوى السَّهمي عند المعالجة بالقوى الخارج فموية و حدوث تغيرات تكاد تكون مهملة بالمستوى العمودي ولم يكن هناك فروق هامَّة في التَّغيرات السَّهمية والعمودية بين حزام الرَّأس المستقيم والعنقي (Boecler, Riolo et al. 1989)

1-2-4-4-السَّيطرة على ميلان مستوى الإطباق : إنَّ الاستخدام الأكبر لحزام الرَّأس هو السَّيطرة على ميلان مستوى الإطباق، خاصَّةً عند مرضى الصِّنف الثَّاني يعمل حزام الرَّأس على تسوية مستوى الإطباق من أجل ثبات الحالة ما بعد المعالجة (Nanda,1997).

1-2-5-مقدار القوة المطبقة ومدتها :

- حسب Bishara القوة الفعالة من أجل معالجة سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني تطَّبق من خلال القوس الوجهي وتساوي 400-600غ في كلِّ جانب لمدة 12-16 ساعة في اليوم مساءً وخلال اللَّيل، خط القوة يجب أن يوجه للأعلى والخلف من خلال أو فوق مركز مقاومة الأرحاء العلوية، وتكون المعالجة خلال فترة النُّمو الفعال .(Bishara,2001)
- حسب Proffit لكي يكون حزام الرَّأس فعَّالاً في السَّيطرة على النُّمو يجب أن يرتدى بشكل منتظم مدة لا تقل عن 10-12 ساعة في اليوم مساءً وخلال اللَّيل، وتعتبر مدة المعالجة المثالية تتراوح ما بين 12-18 شهر، وذلك حسب سرعة النُّمو وتعاون المريض.

القوة المقترحة 12–16أونصة (350–450 غ) لكلٍّ طرف، إنَّ تطبيق القوى الثَّقيلة الزَّائدة (أكثر من 1000غ بشكل عام) تكون راضة على الأسنان والنُّسج الدَّاعمة لها أمَّا تطبيق القوى الخفيفة يؤدي إلى تغيرات سنيَّة وغير هيكلية .

أمَّا عند استخدامه من أجل تقوية الإرساء الخلفي يجب أن تطبق القوة خارج الفموية بشكل ثابت ولفترة طويلة، حيث ينصح بتطبيق قوة 150–250غ/جهة لمدة لا تقل عن 8 ساعات/يوم للمحافظة على الأرحاء بمكانها.

عندما نريد إرجاع الأرحاء وحشياً يجب أن تكون القوة ذات شدة معتدلة ومدة تطبيق طويلة وثابتة تقريباً قدر الإمكان للحصول على حركة سنيَّة فعَّالة، والأفضل أن يرتدي الطفل حزام الرَّأس 14–16 ساعة/يوم على الأقل، وفي حالات قلع الرَّحى الثَّانية ستكون القوة المطبقة أقل منها في حالات عدم القلع (Proffit,2007).

- حسب Nanda إنَّ مدة ارتداء حزام الرَّأس بحدود 12–14 ساعة مساءً وفي بعض الأحيان قد تصل إلى 16 ساعة في اللَّيل ولكن ليس أقل من 10ساعات في اليوم وذلك للحصول على التَّأثيرات الهيكلية .

وعندما نريد إرجاع الأرحاء علينا تطبيق قوى منخفضة الشِّدة (150–200 غ/جهة) لتفادي الجهد الموضعي في الرِّباط حول السِّني ولكونها مركَّزة فقط على سنين. وإنَّ قوة شدتها 100غ تقريباً لكلِّ جهة تعتبر مناسبة حيث تتحرك الأسنان بمعدل 1مم/شهر ، وبالتَّالي نحتاج 3 أشهر للحصول على 3مم من التَّصحيح وهي الحاجة النَّموذجية في هذا النَّوع من المعالجة (Nanda,1997).

1-3-طريقة العناصر المنتهية Finite Element Method (FEM)

تقوم هذه الطَّريقة على أساس تقسيم الجسم المدروس إلى عناصر elements أصغر متناهية الأبعاد ذات شكل هندسي خاص (مثلث، مربع ..) مع الحفاظ على الخواص الماديَّة للنَّموذج في هذه العناصر ويستخدم تعبير منتهٍ للدَّلالة على أنَّ العناصر ذات أبعاد ملموسة لا يمكن أن تتناهى في الصِّغر، تتصل هذه العناصر فيما بينها بواسطة ما يسمى العقد nods و تشكِّل بمجموعها شبكة meshwork .

(Jimenez 2010, Vikram, Hashir et al. 2010)

التَّعريف : هي طريقة رياضيَّة يتمُّ من خلالها بناء شكل هندسي معقَّد وإدخال خواصه الفيزيائية بواسطة الحاسوب (Konda and Tarannum 2012)، وتقوم هذه الطَّريقة على التَّحليل الرَّقمي المبني على الخواص المادية للجسم حيث يتمُّ معرفة مقدار التَّشوه الحاصل في كلِّ جزء من النَّموذج عند تطبيق قوة على جزء منه بناءً على معرفة خواصه الماديَّة كمعامل المرونة و معامل بواسون (Jimenez 2010) .

تعتبر طريقة العناصر المنتهية طريقة عدديَّة في التَّحليل تسمح بدراسة انتشار الضَّغط و الانزياحات داخل الجسم في الأبعاد الثَّلاثة و ذلك خلافاً للنَّظريات الأخرى (كمقياس الضَّغط) التي تكون محدودة بنقاط على السَّطح. (Ko et al . 2012, Konda and Tarannum 2012)

حديثاً أصبحت تستخدم هذه التِّقنية بشكل واسع للتَّنبؤ بالأداء الميكانيكي الحيوي لآلات طبيَّة متنوعة ونسج بيولوجية نظراً لسهولة تصميم الأشياء غير المنتظمة والمؤلفة من عدد من المواد المختلفة وشروط حديَّة مختلفة (Ko et al . 2012)

لقد أحدث استخدام طريقة العناصر المنتهية في التّحليل البنيّوي ثورة على مستوى الأبحاث السِّنيَّة الحيوية الطِّبيَّة (Vikram, Hashir et al. 2010)، وزوّدت أخصائي التَّقويم ببيانات كميَّة ووسعت فهمه حول ردود الفعل الفيزيائيَّة التي تحدث داخل المركب السِّني السَّنخي والقحفي الوجهي (Konda and Tarannum 2012)

1-3-1-تاريخ استخدام العناصر المنتهية في طب الأسنان:

يعود تاريخ تقنية العناصر المنتهية إلى عام 1943 حيث كان R.Courant أوّل من طوّر هذه التِّقنية حيث استفاد من نظرية Ritz للتَّحليل الرَّقميّ وتخفيض حسابات التَّكامل والتَّفاضل ليحصل على حلول تقريبية للأنظمة المتحركة ، ولاحقاً في عام 1956نشر Turner و زملاؤه مقالة تتعلق بتأسيس تعريف واسع عن التَّحليل الرَّقميّ وركزَّت المقالة على الصَّلابة stiffness والانحراف deflection للبنى المركَّبة. (Konda and Tarannum 2012)

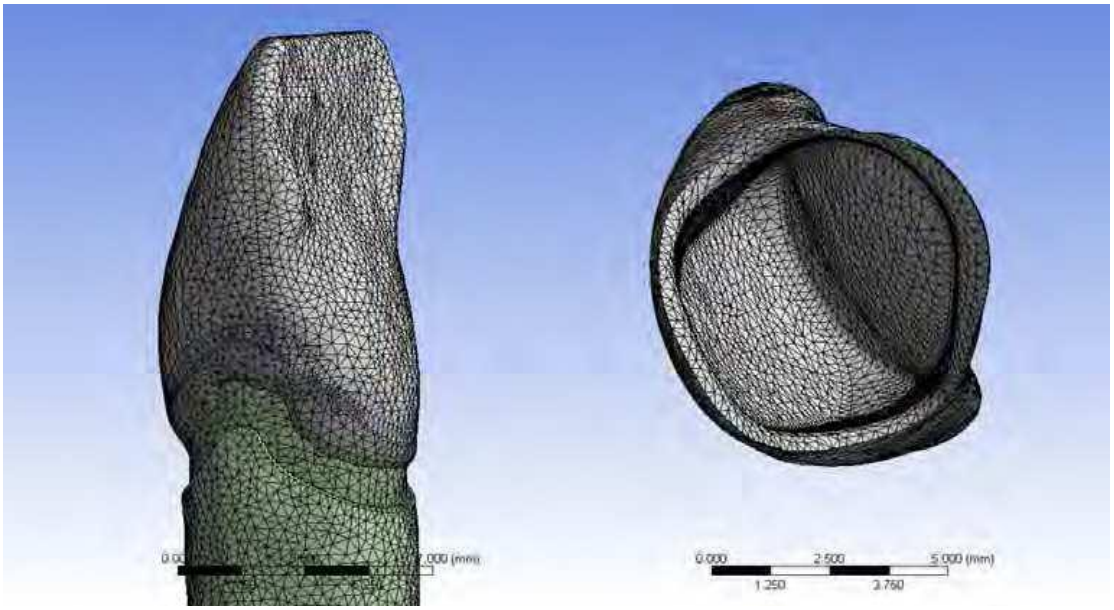
وفي عام 1973 بدأت شعبيَّة تقنية العناصر المنتهية بالتَّزايد في طب الأسنان، وذلك بعد أعمال Farah المبكِّرة في طب الأسنان التَّرميمي. كانت النَّماذج الأوَّلية للأسنان ثنائية الأبعاد 2D ومقيَّدة بعدد كبير من الحسابات، ومن أجل التَّغلب على عدم استمرارية الشَّكل الهندسي للنَّموذج تمَّ إضافة العديد من القيود ولذلك أصبح التَّحقق من صحة النَّموذج أمراً ضرورياً في تلك الفترة. (Thresher and Saito 1973, Farah and Craig 1974, Peters, Poort et al. 1983)

وفي بداية التِّسعينات حصل تقدم واضح في تقنيات التَّصوير، حيث قدَّمت بيانات التَّصوير المقطعي المحوسب عدد من الأشكال الهندسية المقطعية للفكين والتي تمَّت برمجتها وإعادة

بنائها على شكل نموذج ثلاثي الأبعاد 3D. حدث تطور في الشَّبكة اليدويَّة والشِّبه أتوماتيكية بشكل تدريجي خلال هذا الوقت، وتمَّ تحليل نماذج ثلاثية الأبعاد للفكين والأسنان باستخدام شبكة خشنة (Lin, Chang et al. 2001، Korioth and Versluis 1997).

بشكل عام كان قياس العنصر كبير بشكل نسبي بسبب تقنيات الشَّبكة غير النَّاضجة the immature meshing techniques في ذلك الوقت الأمر الذي جعل النَّماذج تستغرق وقتاً أطول في البناء، وكان لابد من التَّحقق من صحة تقديرات الإجهاد والانفعال عند استخدام نماذج بشبكة خشنة، بالإضافة إلى التَّأكد من صحة تفاصيل إعادة البناء ثلاثي الأبعاد .

ومع بداية القرن الواحد والعشرين تطوَّرت قدرات البرمجيَّات والحاسوب مما أدَّى إلى تطور القدرة على محاكاة نماذج ثلاثية الأبعاد معقدة التَّركيب مثل (السُّطوح الإطباقية، اللُّب، العاج، الميناء) وبتفاصيل أدق. العديد من دراسات العناصر المنتهية الحديثة قدَّمت بنى تشريحية ثلاثية الأبعاد دقيقة لمقاطع مركَّبة للأسنان والفك باستخدام صور مقطعية مصغَّرة μCT . سمحت زيادة الوظائف الحسابية في التَّصميم ثلاثي الأبعاد بمساعدة الكمبيوتر computer-aid-design (CAD) بمحاكاة دقيقة لتشريح الأسنان ومكونات التَّعويضات مثل الزَّرعات والفينرات (الوجوه التَّجميلية) (الشَّكل1-10) (Ko et al . 2012) .



.

الشَّكل (1-10) شبكة العناصر المنتهية صممت لتحاكي الوجه التَّجميلي السِّيراميكي (Ko et al . 2012)

سمحت الشَّبكة النَّاعمة ووحدة المعالجة المركزيَّة عالية القدرة الحاسوبية بإجراء حسابات في الحقول الميكانيكية (مثل الضَّغط، الشَّد، الطَّاقة)، وتمكَّنت أيضاً من تمثيل التَّفاصيل التَّشريحيَّة و سطوح التَّماس بين الأنسجة المختلفة (مثل العاج، الرِّباط حول السِّني، الميناء) والتي تقدَّم من قبل برامج CAD، وتمَّ التَّأكيد على أنَّ إدخال الأسنان كاملة هو أمر ضروري في مجال التَّنبؤ الدَّقيق بالإجهاد و الانفعال (Field, Ichim et al. 2009).

تمَّ الاستفادة من برامج CAD مثل SolidWorks© (Waltham, MA, USA), Pro Engineering© (Needham, MA), and Geomagic (Triangle Park, NC, USA) في بناء النَّماذج السِّنيَّة الوجهية والتَّعويضات . يمكن تحويل النماذج المجسمة المخرجة من برامج CAD إلى برامج العناصر المنتهية مثل (Abaqus, Ansys, Marc) من أجل إنشاء شبكة العناصر والحل (Ko et al . 2012) .

1-3-2-تطبيقات طريقة العناصر المنتهية :

يمكن أن تستخدم طريقة العناصر المنتهية في المجالات التَّالية : (Konda and Tarannum 2012)

- الميكانيك / الفضاء/ الهندسة المدنية / السَّيارات
- التَّحليل البنيوي (ساكن ، متحرك / خطِّي ، لا خطِّي)
- التَّدفق الحراري / السَّوائل
- المغنطة الكهربائية
- الهندسة الميكانيكية
- الميكانيك الحيوي
- الأبحاث التَّقويمية
- للتَّحقق من ردود فعل الأنسجة الرَّخوة والعظم على القوة الميكانيكية .

وأما تطبيقاتها في طب الأسنان فهي واسعة وكبيرة ونذكر منها ما يلي :

1- يمكن تطبيق التَّحليل بواسطة العناصر المنتهية على الأجسام الصَّلبة غير منتظمة الشَّكل والمؤلفة من مواد مختلفة، ولذلك فهو مناسب لتقييم سلوك النُّسج المكونة للأسنان وأصبح يستخدم في طب الأسنان في عدد كبير من التَّطبيقات مثل دراسة المواد الحيويَّة والتَّرميمية، الزَّرعات السِّنية (العادل و مراد 2006)، في تقويم الأسنان، جراحة الوجه والفكين وغيرها (Field, Ichim et al. 2009, Jimenez 2010)

2- طبِّقت طريقة العناصر المنتهية لوصف التَّغيرات الحاصلة في البنى الحيوية خاصَّةً في أماكن النُّمو (Holberg, Holberg et al. Holberg, Mahaini et al. 2007 ,

دراسة (2008, Gautam, Valiathan et al. 2009, Vikram, Hashir et al. 2010 توزع الإجهاد في السِّن حسب تصميم الترميم، ولتحسين تصميم الحشوات السِّنيَّة ودراسة توَّزع الضُّغوط في السِّن عند تحضير الحفر (Lin, Chang et al. 2001 , Vikram, Hashir et al. 2010)

3- في علم التَّعويضات الثَّابتة : مفيدة في تصميم التَّعويضات الثَّابتة ودراسة انتشار الإجهادات في ترميمات ClassII inlay وغيرها. (Konda and Tarannum 2012) ودراسة كيفية توَّزع إجهادات التَّرميمات التَّاجية الجذرية للأسنان (الشَّعراني و أبو نصار 2000).

4- في علم النُّسج حول السِّنيَّة : يستخدم لدراسة توَّزع الإجهادات المتولدة في العظم حول الزَّرعة بناءً على قطر وطول وشكل الزَّرعات السِّنيَّة (العادل و مراد 2006، Konda and Tarannum 2012) ومعرفة القيم الفيزيولوجية للجهود المتولدة في السِّنخ وعلاقتها بإعادة بناء العظم (Vikram, Hashir et al. 2010) .

5- في مجال الجراحة الوجهية الفكية : تستخدم للتَّنبؤ بتشوهات النُّسج الرَّخوة الوجهية النَّاتجة عن إعادة توَّضع العظم، وتسمح بدراسة السُّلوك الميكانيكي الحيوي للفك السُّفلي في مختلف الحالات السَّريريَّة تحت حالات الرُّضوض القياسية والفيزيولوجية وتساعدنا في اختيار الموقع والتَّصميم الأكثر فعَّالية للصَّفائح الصَّغيرة المثبِّتة للعظم واختبار المواد الحيويَّة الجديدة (Konda and Tarannum 2012).

6- تستخدم لدراسة الميكانيك الحيوي لحركة السن التَّقويمية والتَّقييم الدَّقيق لآثار الأجهزة والمواد الجديدة من دون الحاجة إلى تجارب على الحيوانات (Seth and Kamath

(2010 تساعد في تحليل الإجهادات المتشكِّلة داخل السَّن والرِّباط حول السِّني والعظم عند تطبيق القوى التَّقويميَّة (Vikram, Hashir et al. Jimenez 2010 , 2010)، يمكن بواسطتها نمذجة وتمثيل السُّلوك الميكانيكي للسلك التَّقويمي والنَّماذج المختلفة من الحاصرات ولذلك فهي تعتبر أداة هامَّة ساعدت في تطوير وتحسين تصميم الأسلاك والحاصرات التَّقويمية(Seth and Kamath 2010) .

1-3-3-فوائد طريقة العناصر المنتهية :

1- لا تتطلب معدَّات مكلفة .

2- أي مشكلة يمكن تجزئتها إلى عدد من المشاكل الأصغر .

3- هي تقنية آمنة ومحافظة noninvasive technique.

4- يمكن بناء نموذج ثلاثي الأبعاد 3-D model .

5- يمكن محاكاة الخواص الفيزيائية الدَّقيقة للمواد الدَّاخلة في بناء النَّموذج .

6- يمكن إعادة الدِّراسة مرات عديدة كما يرغب الباحث .

7- تعتبر صورة تقريبيَّة للحالات الطَّبيعيَّة .

8- يمكن إجراء تحليل ساكن Static و حركي dynamic.

9- تزوِّد تقنية العناصر المنتهية أخصائي التَّقويم بمعلومات كميَّة تزيد من فهم التَّفاعلات الفيزيولوجية التي تحدث عقب تطبيق القوة .

10- تعتبر طريقة مناسبة في التَّحليل لقدرتها على التَّعامل مع البنى ذات الأشكال المختلفة والطَّبيعة غير المتجانسة.

11- يمكن حساب الإجهادات المتولدة داخل النَّموذج في أي نقطة منه.

(Vikram, Hashir et al. 2010) (Seth and Kamath 2010)

1-3-4-محدودية طريقة العناصر المنتهية :

1- تقدِّم تقنية العناصر المنتهية نتائج مقبولة من ناحية الدِّقة، ولكن يوجد ما يقيدها مثل عدم القدرة على المحاكاة الدَّقيقة لحركة السِّن البيولوجية و النُّسج الدَّاعمة المحيطة به، كما هو الحال مع أي نموذج نظري لنظام حيوي .

2- نتائج التَّحليل بنظرية العناصر المنتهية يجب أن تفسَّر بعناية فائقة .

3- دقة التَّحليل تعتمد على مدى دقة النَّمذجة وقربها من الواقع أو الحقيقة .

4- يجب توخي الحذر عند استخدام افتراضات في صياغة وتوصيف المواد، طبيعة الشُّروط الحديَّة وتمثيل الإجهادات، كلُّ هذه العوامل تؤثر في صحة النَّتائج.

(Tanne and Sakuda 1991 , Seth and Kamath 2010 , Jimenez 2010, Cossetin,Nóbrega et al .2012)

1-3-5-معلومات فيزيائيَّة ميكانيكية عامَّة :

<u>الإجهاد stress</u>

هو مقاومة الرَّوابط بين الجزيئية في المادة للتَّشوه النَّاتج عن تطبيق حمولة (Frost 1983)، أو هو التَّوزع الدَّاخلي للقوة المطبقة على المادة المدروسة ويتحدَّد بشدة القوة المؤثرة في واحدة السُّطوح (proffit,2007)، فهو يماثل الضَّغط ويعطى بالمعادلة :

الإجهاد σ = القوة F / السَّطح A

ويرمز له σ (سيغما) وواحدة الإجهاد Pa أي باسكال والتي تساوي نيوتن / المتر المربَّع .

أنواع الإجهادات ثلاثة :

إجهاد الشَّد Tensile stress:وينشأ عن قوى تحاول مطّ أو تطويل الجسم ويرافقه انفعال شد .

إجهاد الضَّغط Compressive stress : وينشأ عن قوى تحاول تقصير الجسم ويرافقه انفعال ضغط .

إجهاد القصّ Shear stress :وينشأ عن مزدوجة فتل أو ليّ تحاول قصَّ الجسم أو تزلق جزءاً منه عكس الآخر، ويرافقه انفعال قص .

غالباً ما تنشأ الأنواع الثَّلاثة معاً وتسمَّى إجهادات مركَّبة (Craig 1993).

الانفعال : Strain

يعني التَّشوه الدَّاخلي للمادة والنَّاتج عن الحمولة الخارجية المطبقة عليها ويتمُّ تحديده بمقدار الانحراف Deflection أو التَّغير الذي يطرأ في واحدة طول المادة المدروسة، قد تكون الحمولة المؤثرة على العظم قوة العضلات أو وزن الجسم (Frost 1983 – proffit, 2007)

ليس للانفعال واحدة قياس إنمَّا هو نسبة ويعطى بالعلاقة :

الانفعال (ε) = مقدار التَّشوه DL ÷ الطُّول الأصلي L0

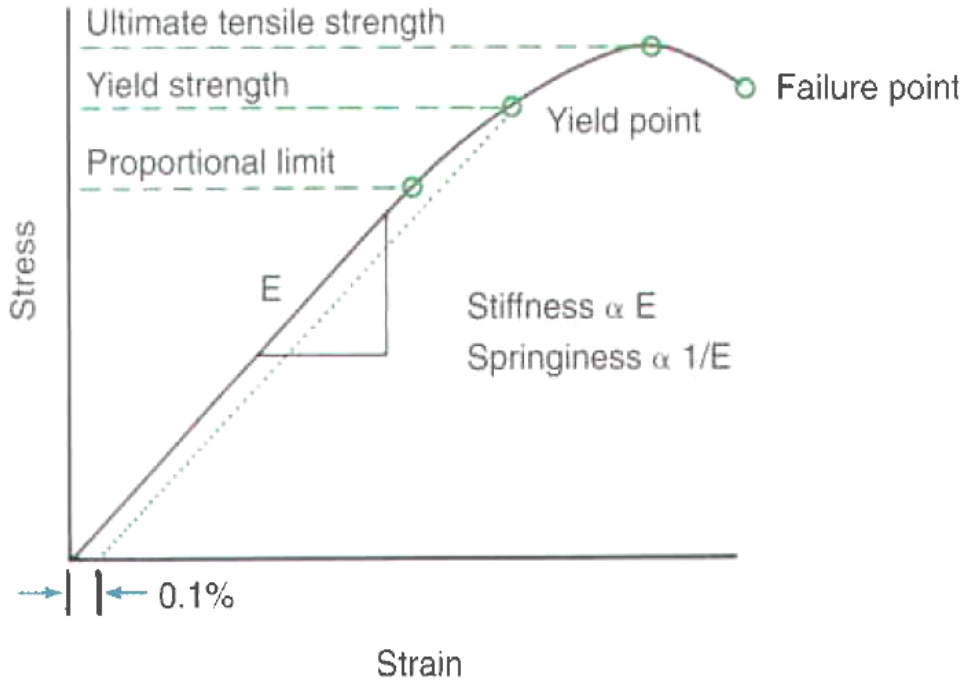
$$\varepsilon = DL/L0 = (L - L0)/L0$$

حيث L هو الطُّول الجديد بعد تطبيق القوة، DL هو مقدار التَّشوه ويساوي الطُّول الجديد مطروحاً منه الطَّول الأصلي .

تتغيَّر قيمة الانفعال حسب نوع المادة المعرضة للإجهاد و كذلك حسب قيمة الإجهاد المطبقة ولابد من حدوث تشوه وانفعال في الجسم عند تطبيق أي إجهاد بغض النَّظر عن المادة و شدة الإجهاد، وقد يكون الانفعال مرناً أو لدناً (Craig 1993).

منحنى إجهاد – انفعال :Stress – Strain Diagram

الإجهاد والانفعال قياسات داخلية يقابلها قياسات خارجية هي القوة والانحراف، وبتحليل منحنى إجهاد انفعال يمكن فهم الخواص الميكانيكية للمواد المدروسة، في حالة الشَّد يمكن قياس الإجهاد والانفعال الدَّاخليين عن طريق معرفة القوة المطبقة والانحراف النَّاتج عنها بعد الأخذ بعين الاعتبار مساحة المادة المدروسة وطولها الأصلي (الشَّكل1-11) (proffit,2007)



الشَّكل(1-11) منحنى الإجهاد – انفعال (proffit 2007)

توافق النُّقطة الموافقة لحدِّ المرونة (σy) نهاية المنطقة الموافقة لمجال المرونة حيث ضمن هذا المجال هناك علاقة ثابتة تناسبيَّة طرديَّة بين الحمولة أو القوة المؤثرة وكميَّة الانحراف النَّاتج عنها وهذا ما يسمَّى بقانون هوك Hook's Law (proffit,2007)

إنَّ ميل المستقيم **يسمَّى معامل المرونة Elastic Modulus أو معامل يونغ modulus Young's** وهو يساوي ظلّ الزَّاوية التي يصنعها المستقيم مع المحور الأفقي (الانفعال)، وهو يعبِّر عن صلابة المادة خلال مرحلة المرونة، حيث تتناسب صلابة المادة طرداً مع معامل مرونة المادة Elastic Modulus فكلمَّا ازدادت قيمة معامل مرونة المادة ازدادت زاوية انحراف الجزء المستقيم من الخط البياني وبالتَّالي ازدادت صلابة المادة (Graber,2013)

يحسب معامل المرونة من العلاقة : معامل المرونة E = الإجهاد σ/ الانفعالε وواحدته هي واحدة الإجهاد نفسه أي باسكال Pa لكون الانفعال لا واحدة له .

في حال كانت الحالة الإجهاديَّة مركَّبة وشكل الجسم أكثر تعقيداً (أي أنَّ الجسم يتعرض لقوى باتجاهات مختلفة) عندئذٍ يتمُّ الرُّجوع إلى مفهوم الإجهاد المكافئ والذي يعتبر أحد أشكاله Von Mises Stress.

قد نلاحظ اختلاف في قيمة معامل المرونة للعظم والميناء والعاج والرِّباط حول السِّنيّ وهذا يعود لاختلاف الطَّريقة المستخدمة من قبل الباحثين للحصول على النَّتائج دراسة (Holberg, Gautam, Valiathan et al. , Holberg, Holberg et al. 2008 , Mahaini et al. 2007 2009) ولكن بالنِّسبة لبعض المواد السِّنيَّة الهشة وعاج وميناء الأسنان يقاس معامل المرونة بتقنية الأمواج فوق الصَّوتية (Me π troviÊ 2002).

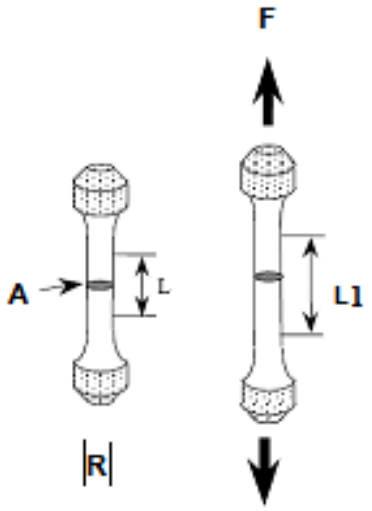
معامل بواسون Poisson's ratio :

هي نسبة الانفعال العرضي إلى الانفعال الطُّولي لجسم ما عندما تطبق عليه حمولة باتجاه طولي، فمثلاً عندما يتعرض جسم ما (أسطوانة مثلاً) طوله L ومقطعه A ونصف قطر

المقطع R إلى قوة شد F(الشَّكل 1−12)، فإنَّ هذا الجسم سوف يستطيل بمعنى آخر سوف يتغيَّر توَّزع مادته، فيصبح طوله الجديدL1 يعادل طوله الأصلي L مع الزِّيادة في الطُّول ΔL، وقطر مقطعه الجديدR1 يعادل الفرق بين القطر الأصلي R وتغيُّر القطرΔR .

$L1 \rightarrow L + \Delta L$ بالاتجاه الطُّولي ، $R1 \rightarrow R - \Delta R$ بالاتجاه العرضي

أمَّا انفعال هذا الجسم بالاتجاه الطُّولي فهو : $\varepsilon = \Delta L/L$، وانفعاله بالاتجاه العرضي فهو $\varepsilon = \Delta R/R$:



الشَّكل (1−12) إخضاع اسطوانة لقوة شد

وبالتَّالي تكون نسبة بواسون هي نسبة الانفعال العرضي إلى الانفعال الطُّولي (Craig 1993)

1−3−6−مراحل العمل بواسطة العناصر المنتهية :

تتضمَّن مراحل العمل بواسطة العناصر المنتهية ثلاث خطوات رئيسيَّة :

ما قبل المعالجة – المعالجة (الحل) – ما بعد المعالجة (التحليل)

1-3-6-1-ماقبل المعالجة Pre-processing :

1-3-6-1-1-بناء النَّموذج الهندسي : الغرض من هذه الخطوة هو مماثلة الشَّكل الهندسي بما يحويه من نقاط وخطوط ومماثلته بالمساحة والحجم، قد يتمّ رسم النَّقاط وتوصيلها لتشكيل الوجوه السَّطحية والجانبية ومن ثمَّ تضم هذه السُّطوح لبعضها ليتمَّ تشكيل الصُّورة ثلاثية الأبعاد (Konda and Tarannum 2012 , Seth and Kamath 2010)

إنَّ الطُّرائق التَّقليدية في بناء النَّموذج الهندسي من أجل التَّحليل بالعناصر المنتهية غير مناسبة للأسنان والرِّباط والعظم، وذلك بسبب شكلها المعقَّد (Seth and Kamath 2010)

حالياً يتمُّ إنشاء النَّموذج المجسم من مجموعة البيانات المأخوذة من التَّصوير المقطعي المحوسب CT، أو من صور المقطعية المصغَّرة microCT ، أومن صور الرَّنين المغناطيسي MRI والتي تستخدم عادة لنمذجة البنى المعقَّدة أو الأنسجة الحيَّة كالمركب القحفي الوجهي/الفك العلوي أو السُّفلي، أمَّا لنمذجة الأشياء غير الحيَّة كالحاصرات مثلاً يستخدم عادة الماسح اللِّيزري ثلاثي الأبعاد 3D- Laser scanner. (Hsu and Chang 2010)

بشكل عام يوجد طريقتين للنَّمذجة في التَّطبيقات الطِّبيَّة: واحدة منها تبني النَّموذج بشكل مباشر من صور CT عن طريق برنامج معالج للصُّور الطِّبيَّة مثل MIMICS (Materialise NV, Belgium) (Cattaneo, Dalstra et al. 2005) هذه الطَّريقة تستخدم شبكة مثلثية (نموذج سطحي) عند نقل النَّموذج الهندسي إلى برنامج تحليل العناصر المنتهية، ولذلك فإنَّ البيانات السَّطحية هي فقط التي يمكن تمثيلها وهذا سيؤدي إلى صعوبة

في تمثيل نقاط الاتصال داخل النَّموذج (Ammar, Ngan et al. 2011)، طريقة أخرى تحوّل الشَّبكة المثلثية(نموذج سطحي) إلى نموذج مجسم solid باستخدام مشاركة بين الهندسة العكسيّة وطريقة CAD التقليديّة (computer aided design)CAD مثل استخدام برنامج Unigraphics (Siements, German) تتضمن تقنيات النَّمذجة العكسيَّة إزالة التَّشويش الموجود noise ، تجزِّئة وتحسين السَّطح وذلك من أجل الحصول على نموذج the NURBS (Varady, Martin et al. 1997) (Liu, Ru et al 2013) وهي الطَّريقة التي تمَّ اتباعها في البحث .

1-3-6-1-2-تحويل النَّموذج الهندسي إلى نموذج من العناصر المنتهية :

إنَّ عملية تقسيم الشَّكل إلى عدد كبير من العناصر الصَّغيرة تتصل بعقد تدعى التَّقسيم Discretization، يتمُّ ترقيم كلّ العناصر والعقد لتسهيل عملية الحوسبة، من الممكن أن تكون العناصر أحادية أو ثنائية أو ثلاثية الأبعاد وتكون بأشكال مختلفة .

العناصر لا تتداخل ولا تتشابك مع بعضها لكنَّها تتصل فقط مع بعضها بعقد nodes إنَّ عملية اتصال العناصر بالعقد و التَّخلص من العقد المتطابقة تدعى Merge ، من الممكن أن يتمّ ذلك بمساعدة برنامج ANSYS على سبيل المثال أو أي من برامج العناصر المنتهية (Seth and Kamath 2010)

1-3-6-1-3-تمثيل خواص المواد :

في كلّ بنية يتمُّ تعيين خواص مادية معينة، يتمُّ الحصول على الخواص المادية للمواد من الدِّراسات السَّابقة أو من القيم الوسطية الموجودة في الأدب الطِّبي (Seth and Kamath 2010)

يوجد العديد من الطّرائق لدراسة الخواص الفيزيائية للعظم مثل اختبارات الشَّد، الضَّغط، الانحناء، الالتواء، اختبارات القص، الاختبارات باستخدام الأمواج فوق صوتية (Hsu and Chang 2010)

الخواص المادية المطلوبة على الأقل هي معامل يونغ ومعامل بواسون (Konda and Tarannum 2012)

1-3-6-1-3-تعريف الشُّروط الحديَّة the boundary condition :

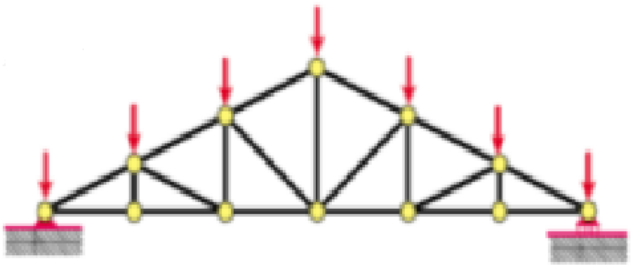
لنفترض أنَّ العنصر تمَّ بناؤه في الحاسوب وتمَّ تطبيق القوة عليه، فإنَّه سوف يكون كجسم صلب عائم حر الحركة وسوف يتحرك بحركة انتقالية أو دورانية أو كلِّيهما من دون أن يحدث تشوه تجريبي . لدراسة هذا التَّشوه يجب أن يتمّ تقييد بعض درجات الحرية (حركة العقد في كلِّ اتجاه X,Y,Z) لبعض العقد، هذا التَّقييد يدعى بالشُّروط الحديَّة (Seth and Kamath 2010) (Konda and Tarannum 2012)

أي يجب أن توضع على بعض الأماكن من النُّموذج انزياحات بقيمة الصِّفر أي أن تكبح الحركة في هذه النِّقاط وذلك لضمان التَّوازن . يجب أن يوضع هذا الكبح على العقد البعيدة

عن مكان الدِّراسة وذلك منعاً من التَّأثير على الانفعال أو الإجهاد النَّاتج عن ردود الفعل (Hsu and Chang 2010)

1-3-6-1-4-تطبيق الحمولة:

تطبيق القوة في نقاط مختلفة من الشَّكل الهندسي حسب البحث (Konda and Tarannum 2012)



الشَّكل(1-13)تطبيق الحمولة في أماكن مختلفة من الشَّكل

1-3-6-2-المعالجة Processing :

حل المعادلات التَّفاضليَّة التي تمثل طريقة العناصر المنتهية بعد تطبيق الأحمال والقيود المفروضة والحصول على المجاهيل (الانتقالات)(Konda and Tarannum 2012)

1-3-6-3-ما بعد المعالجة Post-processing :

المخرجات Output من عملية تحليل العناصر المنتهية هي بشكل أساسي نتائج عددية وقد تكون بشكل انزياحات وإجهادات للعناصر كما في المشاكل الميكانيكية الصَّلبة.

ومن الممكن الحصول على النَّتائج بشكل أشكال ملونة Graphic output، وتُوضَّح من خلالها النَّتائج العددية قبل وبعد تطبيق الحمولات، كذلك من الممكن مطابقة الأشكال المشوهة (Konda and Tarannum 2012)

1-3-7-دراسات بتقنية العناصر المنتهية في التّقويم FEM Studies in Orthodontics :

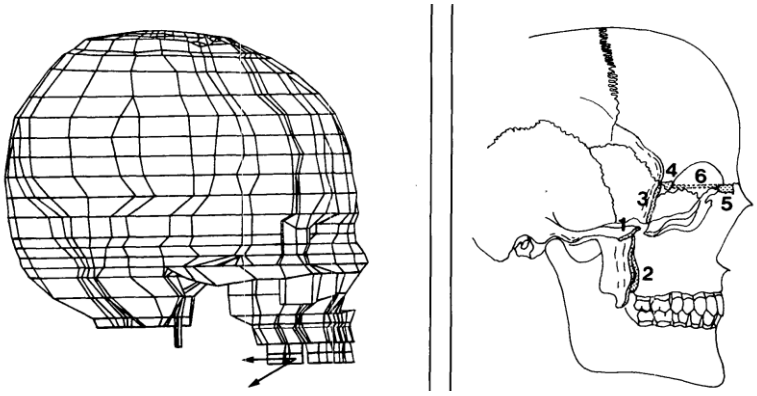
أصبحت تقنية العناصر المنتهية تطبق بشكل واسع في الأبحاث التّقويمية، Yettram كان من بين الأوائل الذين وظَّفوا 2-D FEM لثنية علوية لتحديد مكان مركز دوران السَّن أثناء تحريكه .Halazonetis استخدم 2-D model مشابه لتقييم انتشار الضُّغوط في الرِّباط حول السِّني بعد تطبيق قوى على مسافات مختلفة من مركز مقاومة الثَّنية العلوية، ومع استخدام نماذج 3-Dأكثر تعقيداً تمكَّن كلاً من McGuinness وWilsonو Tanne من دراسة نسبة العزم للقوة وانتشار الضُّغوط أثناء حركة السِّن التَّقويميَّة .

في مجال التَّقويم الفكي السِّني FEM تمَّ توظيفها لتقييم انتشار الضَّغط المتولد داخل المركب القحفي الوجهي أثناء تطبيق القناع الوجهي أو كابح الذقن أو حزام الرَّأس و غيرها (Vikram, Hashir et al. 2010) .

سنذكر بعض الأمثلة على دراسات ل FEMفي التقويم :

دراسة (Tanne, Matsubara et al. 1993) صمِّمت للتحقق من توزيع الجهود النَّاتجة عن قوى حزام الرَّأس على المركب الفكي باستخدام طريقة العناصر المنتهية أجريت الدِّراسة على نموذج تحليليّ تمّ استخلاصه من جمجمة بشرية (الشَّكل 1-14)، تمَّ تطبيق قوة متجهة نحو

الخلف بمقدار 1 كغ على الأرحاء الأولى العلوية في اتجاهات موازية لمستوى الإطباق وتحته وفوقه ب 30 درجة.



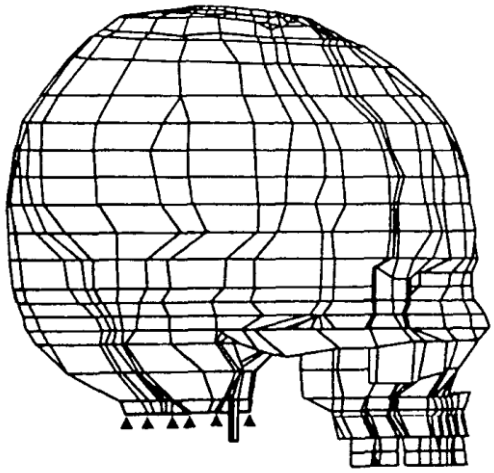
الشّكل(1-14) النّموذج المستخدم في دراسة Tanne, Matsubara et al. 1993

لوحظ تشكُّل جهود كبيرة مع القوة المتَّجهة للأسفل أكثر من القوة الأفقية المتَّجهة للخلف واختلفت طبيعة الجهود من ضغط إلى شد مع هذه القوى في الدِّرز الوجني الصِّدغي .

أكدَّت هذه النَّتائج على أنَّ توزيع الجهود في الدُّروز يختلف حسب اتجاه القوة، وأنَّ المركب الفكي يميل إلى التوَّضع الخلفي مع دوران مع عقارب السَّاعة في القوة الأفقية ويصبح هذا التوَّضع أكثر وضوحاً كلمَّا اتجهت القوة نحو الأسفل .

دراسة (Tanne and Matsubara 1996) صمِّمت للتَّحقق من رد الفعل الميكانيكي الحيّوي في دروز المركب الفكي الأنفي على القوى التَّقويمية المطَّبقة من قبل حزام الرَّأس في الاتجاهات المختلفة، تمَّ استخدام نموذج تحليلي للمركب القحفي الوجهي باستخدام طريقة العناصر المنتهية تمَّ الحصول عليه من جمجمة شاب (الشَّكل 1-15)، تمَّ تطبيق قوى متجهة نحو الخلف على الأرحاء الأولى العلوية بمقدار 1 كغ وذلك بزوايا مختلفة مع مستوى

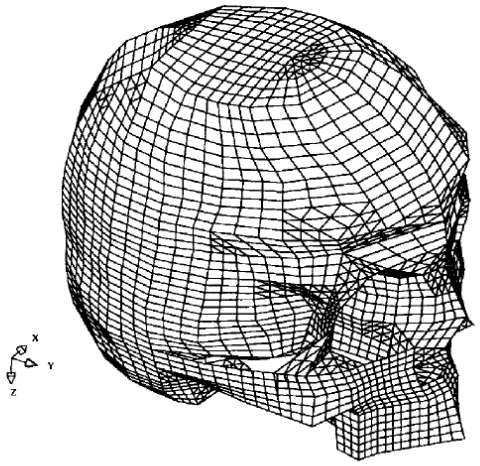
الإطباق (30 ° للأسفل ، 0 °، 30 °و52.4°و60 ° للأعلى) وتمَّ تقييم الإجهادات الرَّئيسيَّة والقاصة في الدُّروز.



الشَّكل(1-15) النَّموذج المستخدم في دراسة Tanne and Matsubara 1996

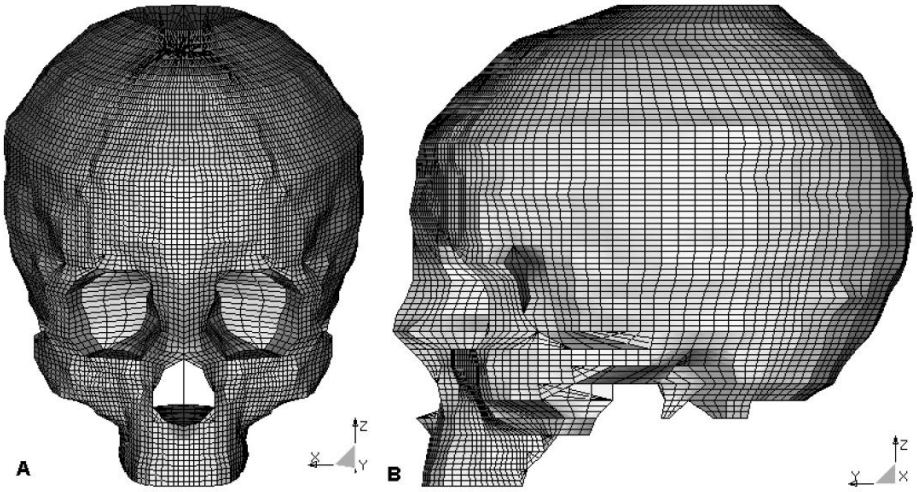
واستنتجت الدِّراسة بأنَّ الجهود المتشكلة في دروز المركب القحفي الوجهي تختلف باختلاف اتجاه القوة النَّاتجة عن حزام الرَّأس ولوحظ حدوث تأثير تكيّفي أفضل في الدُّروز عندما يقترب اتجاه القوة من مركز المقاومة ويصبح التَّحكم بنمو الفك العلوي أفضل .

في دراسة (Işeri, Tekkaya et al. 1998) لتقييم الأثار الميكانيكية الحيويّة للتَّوسيع الفكي السَّريع على المركب القحفي الوجهي بواسطة تقنية العناصر المنتهية تمَّ بناء النَّموذج بالاستعانة بصورة CT لذكر عمره 12 سنة (الشَّكل 1-16)، حصل توَّسع في الفك العلوي بمقدار 5 ملم وحدثت زيادة واضحة في عرض أرض الحفرة الأنفية لم تلاحظ أي حركة في عظام القذالي والجداري والجبهي، ولكن كانت أعلى مستويات الجهود متركِّزة في منطقة الأنياب والأرحاء و الجدار الوحشي للحفرة الأنفية الخلفية عظام الأنف والوجني وحدث تركُّز أكبر للجهود في الصَّفيحة الجناحية من العظم الوتدي في المنطقة القريبة من قاعدة القحف.



الشَّكل(1-16)النَّموذج المستخدم في دراسة Işeri, Tekkaya et al. 1998

وفي دراسة (Jafari, Shetty et al. 2003) لتحليل نمط الجهود داخل المركب القحفي الوجهي أثناء التَّوسيع الفكي السَّريع حيث حصل على نموذج العناصر المنتهية من جمجمة شاب باستخدام CT ثمَّ تمَّ إخضاعه إلى نفس ظروف التَّوسيع لمحاكاة الحالة السَّريريَّة ومن ثمَّ تمَّ تحليل الجهود في الأبعاد الثَّلاثة حدث أكبر انزياح للوحشي في المنطقة ما بين القواطع العلوية بالإضافة إلى الصَّفيحة الجناحية التي تحركت بشكل واضح نحو الوحشي ولكن كان الانزياح أقل على الصَّفيحة الجناحية بالقرب من قاعدة القحف . أكبر انزياح للأمام شوهد في منطقة حاجز الأنف، في المستوى العمودي حدث انزياح للنُّقطة A وANS نحو الأسفل وبالتَّالي هذا يفسِّر حس الضَّغط الذي يشعر فيه المريض في مناطق مختلفة من المركب القحفي الوجهي بكون هذه المناطق تتركَّز فيها الجهود، بالإضافة إلى كون القوى الزَّائدة لا تنتقل إلى الدَّرز بين الفكي فقط وإنَّما تنتقل إلى البنى المحيطة كالعظم الوجني والوتدي .



.

الشَّكل (1-17) النَّموذج المستخدم في دراسة Jafari, Shetty et al. 2003

دراسة (Katada, Katada et al. 2005) لمعرفة تأثير حزام الرَّأس و القناع الوجهي على المستويات المرجعيَّة السيفالومترية باستخدام تقنية التَّحليل بالعناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد، وتمَّ تطبيق قوى مماثلة لقوى حزام الرَّأس والقناع الوجهي على النَّموذج الذي يمثل نصف جمجمة و تألف من 2902عنصر و 2560عقدة حيث تمَّ تطبيق القوى على الأرحاء الأولى العلوية باتجاه الخلف ومن ثمَّ باتجاه الأمام وتمَّ تقييم التَّغيرات الحاصلة على الفك العلوي والسُّفلي والمستويات المرجعية السيفالومترية (الشَّكل 1-18).

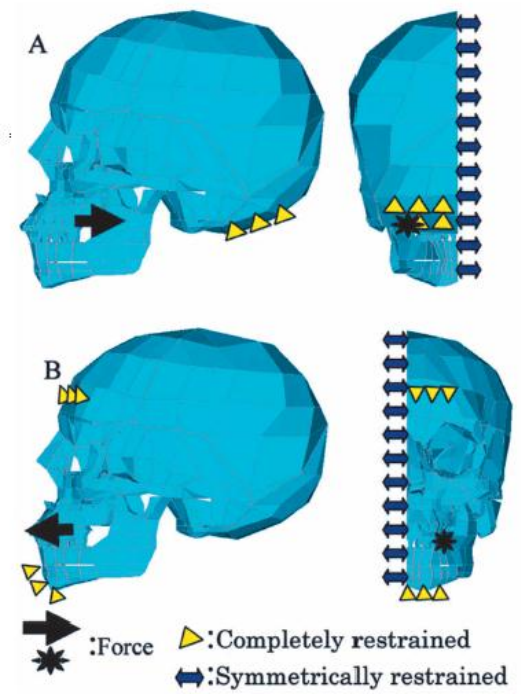


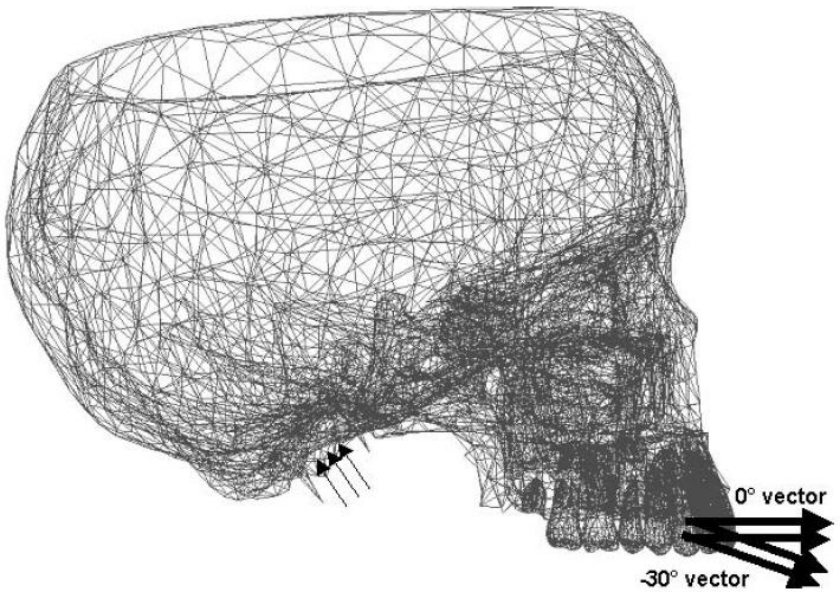
Fig. 2 Force and restraints
A: To simulate use of headgear
B: To simulate use of an orthopedic facial mask

الشَّكل (1-18)النَّموذج المستخدم في دراسة Katada, Katada et al. 2005

أظهرت النَّتائج حدوث انزياح خلفي خفيف ودوران مع عقارب السَّاعة للمستويات المرجعية(فرانكفورت ، N-S ، Ba-N)عند تطبيق قوة باتجاه الخلف بينما حدث توضع أمامي ودوران بعكس عقارب السَّاعة عند تطبيق القوة باتجاه الأمام، كانت درجة الدَّوران أكبر لمستوى فرانكفورت، وكان الفك العلوي والسُّفلي ينزاحان ويدوران بنفس الاتجاه ولكن بمقدار أكبر من المستويات المرجعية بثلاث مرات .

في دراسة (Holberg, Mahaini et al. 2007) التي تهدف إلى قياس الجهود المتولدة في دروز الوجه الأوسط وقاعدة القحف عند المعالجة بتقديم الفك العلوي تمّ استخدام نموذج تحليلي باستخدام طريقة العناصر المنتهية لجمجمة شاب بعمر 18 سنة وكان النَّموذج

يتألف من 53555عنصر و 97550 عقدة (الشَّكل 1–19)، تمَّ تطبيق القوة على الجانب الحنكي من الفك العلوي بالقرب من منطقة الأنياب وحساب الجهود المتولدة عن قوة 3 و5 نيوتن في كلِّ طرف وباتجاهات (موازية و –20مع مستوى الإطباق)

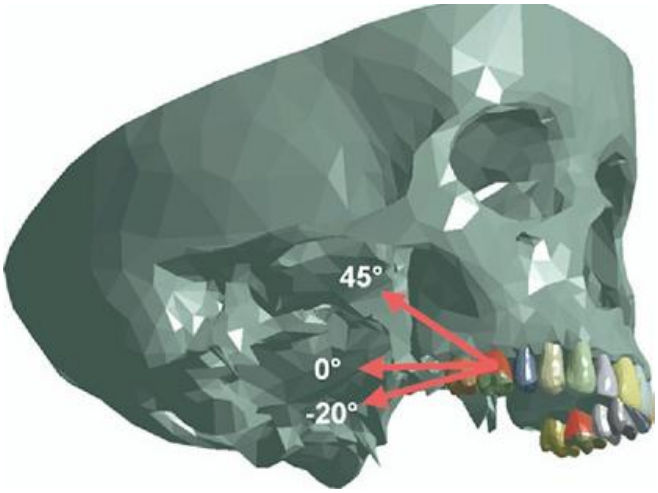


الشَّكل (1–19) النَّموذج المستخدم في دراسة Holberg, Mahaini et al. 2007

وخلصت الدِّراسة إلى كون الجهود التي تتولد في دروز الوجه الأوسط وقاعدة الجمجمة صغيرة وبالتَّالي نعتبر كل النَّتائج السَّريريَّة الجيدة التي نحصل عليها من عملية تقديم الفك العلوي هي تأثيرات سنيَّة .

وفي دراسة (Holberg, Holberg et al. 2008) التي كانت تهدف إلى تحليل الإجهادات المتشكلة في دروز الوجه المتوسط وقاعدة القحف النَّاتجة عن القوى التَّقويميّة عند المعالجة بحزام الرَّأس، تمَّ استخدام نموذج تحليلي باستخدام طريقة العناصر المنتهية لجمجمة رجل بعمر 18 سنة واستخدام ماسح ثلاثي الأبعاد(الشَّكل 1–20)، تمَّ حساب وتسجيل الإجهادات

المتشكّلة في دروز الوجه المتوسط وقاعدة القحف عند تطبيق قوة 5 و 10 نيوتن وباتجاهات مختلفة (−20˚، 0˚، 45˚) مع مستوى الإطباق .

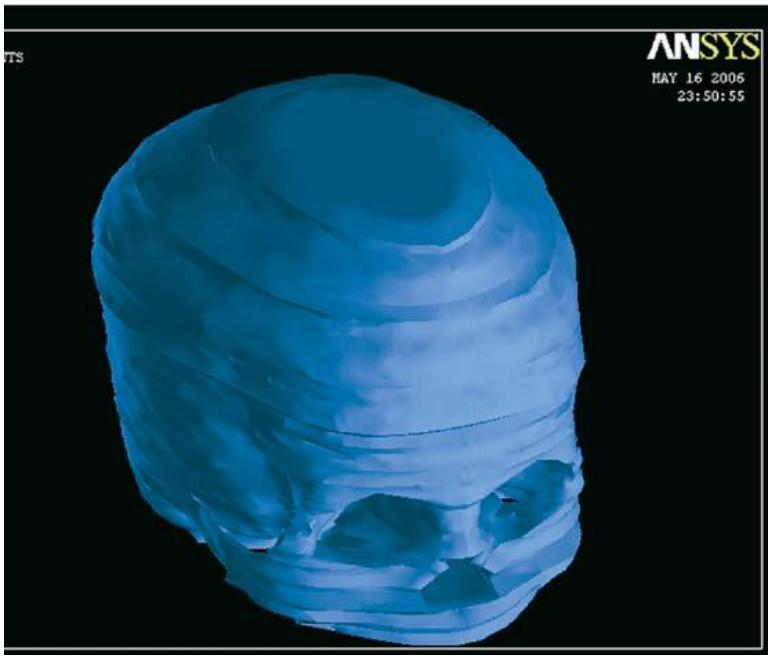


الشَّكل (1−20) النَّموذج المستخدم في دراسة Holberg, Holberg et al. 2008

أكَّدت الدِّراسة على أنَّ قيمة وكيفية توَّزع الجهود يعتمد على مقدار واتجاه القوة الفعالة وكانت أغلب قيم الإجهادات التي قيست في الوجه المتوسط وقاعدة القحف متوسطة . وكان تأثير القوى التَّقويمية المطبقة من قبل حزام الرَّأس جيد على دروز المركب القحفي الوجهي ولكنَّه أقل من العتبة الميكانيكية وهذا يثبت أنَّه لا يوجد تأثير على النُّمو في الدُّروز وبالتَّالي وبسبب هذه النَّتائج فإنَّ الشُّكوك حول التَّأثير الهيكلي لقوى حزام الرَّأس قد تأكَّدت، وهذا يدُّل على أنّ النَّتيجة السَّريريَّة التي نحصل عليها من تطبيق حزام الرَّأس هي عبارة عن نتائج سنيَّة سنخيَّة وليست هيكليَّة .

وفي دراسة (Gautam, Valiathan et al. 2009) التي صمِّمت لتقييم أنماط الانزياح الميكانيكي لعظام الوجه كرد فعل على الأنماط المختلفة لحزام الرَّأس بواسطة طريقة العناصر المنتهية تمَّ استخدام نموذج تحليلي من صور طبقي محوري متعاقبة بفاصل 2.5 ملم

لجمجمة طفل بعمر 7 سنوات وكان النَّموذج يتألف من 108799عنصر و 193633 عقدة (الشَّكل 1-21)، وتمَّ محاكاة قوى حزام الرَّأس المختلفة بتطبيق قوة 1 كغ متجهة نحو الخلف على منطقة الرَّحى الأولى العلوية و بزوايا مختلفة (25°للأسفل ، 0°، 35° للأعلى) مع مستوى عظم الحنك (لتماثل الشَّد العنقي والمستقيم والعالي) وتمَّ تقييم الانزياحات في دروز الجمجمة على المحاور X,Y,Z مع مراعاة اختلاف اتجاهات الشَّد .



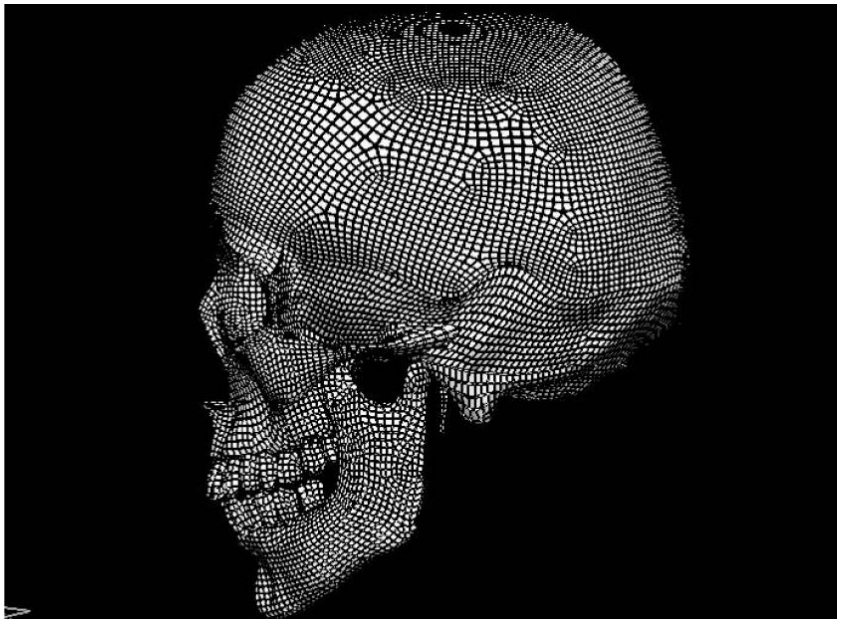
الشَّكل (1-21) النَّموذج المستخدم في دراسة Gautam, Valiathan et al. 2009

وخلصت الدِّراسة إلى : 1- ترافقت الأنماط الثَّلاثة لحزام الرَّأس مع توضع خلفي للفك العلوي ودوران لعظم الحنك مع عقارب السَّاعة -2- كان التوَّضع الوحشي للفك العلوي أكثر مع حزام الرَّأس ذو الشَّد المستقيم ثمَّ العنقي -3- حزام الرَّأس عالي الشَّد أظهر سيطرة أكبر على البعد العمودي -4- ظهر تأثير مشابه للتَّوسيع الفكي السَّريع مع الأنماط الثَّلاثة لحزام الرَّأس حيث لوحظ انفتاح في الدَّرز الحنكي الأوسط وزيادة في عرض الحفرة الأنفية كما في التَّوسيع االفكي السَّريع -5- كانت جميع أنماط حزام الرَّأس فعَّالة في كبح النُّمو الأمامي

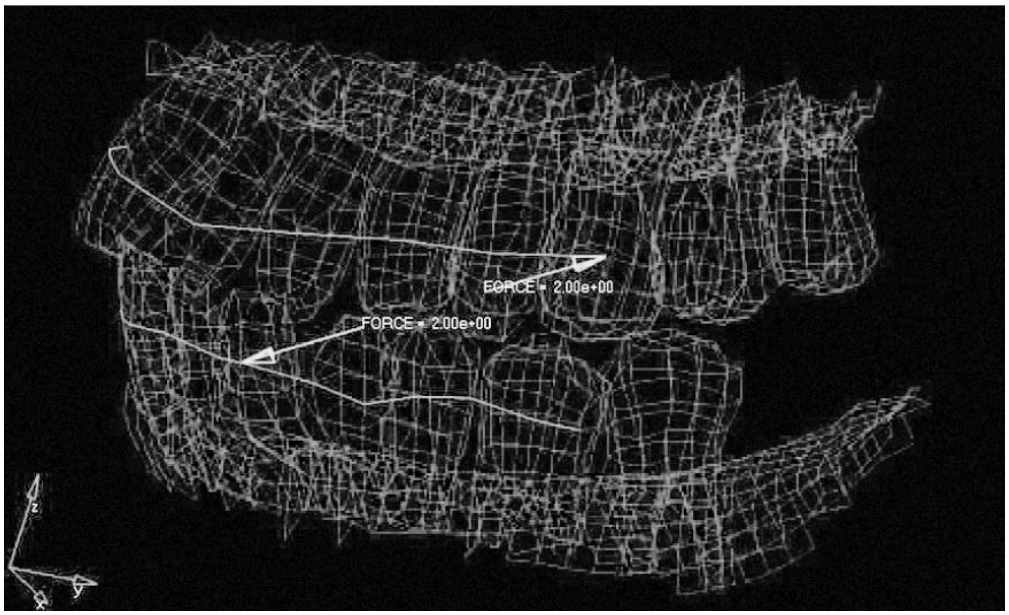
للفك العلوي –6– عمل حزام الرَّأس ذو الشَّد العنقي والمستقيم على إعادة توجيه النُّمو نحو الأسفل والخلف بينما كان حزام الرَّأس عالي الشَّد فعالاً أكثر في كبح النُّمو الأمامي السُّفلي للفك العلوي .

وقام(Gautam, Valiathan et al. 2009) على نفس النَّموذج بدراسة ردود الفعل الهيكلية على المعالجة بجر الفك العلوي إلى الأمام مع أو بدون توسيع وخلص إلى كون المعالجة بتقديم الفك العلوي مع التَّوسيع ذات تأثيرات أكبر من تقديم الفك العلوي فقط .

في دراسة (Panigrahi and Vineeth 2009) لتقييم الانزياحات والضُّغوط النَّاتجة عن المعالجة بالأجهزة الوظيفية الثَّابتة على البنى الوجهية القحفية، تمَّ الحصول على نموذج من جمجمة بشرية من خلال صور CT متعاقبة يفصل بينها 2 ملم وكان عدد العناصر 13590 وعدد العقد 18582(الشَّكل 1–22) وتمَّ تطبيق قوة 2 نيوتن بين الأرحاء العلوية والقطاع السُّفلي الأمامي لتماثل القوة النَّاتجة عن الأجهزة الوظيفية الثَّابتة (الشَّكل 1–23)



الشَّكل (1–22) النَّموذج المستخدم في دراسة Panigrahi and Vineeth 2009



الشَّكل (1-23) تطبيق القوى في دراسة Panigrahi and Vineeth 2009

خلصت الدِّراسة إلى حدوث توضع خلفي علوي للأسنان العلوية والصَّفيحة الجناحية وكانت الانزياحات أوضح على المناطق السِّنيَّة السَّنخية منها من الهيكلية كلّ المناطق السِّنيَّة والسِّنخية تعرضت لجهود شد عدا شوك الأنف الأمامي والأسنان الخلفية السُّفلية .

من الدِّراسات السَّابقة نلاحظ أهمية استخدام تقنية العناصر المنتهية في الحصول على النَّتائج التي يصعب الحصول عليها بالطُّرق التَّجريبيَّة والسَّريريَّة، ولاحظنا أنَّ دقة النَّتائج تعتمد على دقة عملية النَّمذجة وقربها للواقع، لذلك يهدف هذا البحث إلى الحصول على نموذج دقيق للجمجمة البشرية مقارنة بالدَّراسات السَّابقة ودراسة تأثير حزام الرَّأس بأنماطه المختلفة وقوى مختلفة لمعرفة تأثيره على بنى المركب القحفي الوجهي .

الـبَـابُ الـثَّـانـي :

مواد وطرائق البحث

Methods and Materials

2-1- تصميم الدِّراسة : study design

دراسة وصفيِّة تجريبيِّة .

2-2- العينة : sample

تتألف عينة البحث من نموذج تحليلي لجمجمة طفل بعمر 10 سنوات لا يعاني من أي تشوهات خلقيَّة أو تناذرات، أسنانه خالية من الحشوات.

2-3- المواد والطَّرائق :

2-3-1- المواد المستخدمة في البحث :

2-3-1-1- صورة طبقي محوري محوسب computed tomography CT :

تمَّ التقاطها بجهاز general (ge) multisclise وبرنامج التشغيل Advantage Workstation 4.6 (AW4.6_03.001_SLED_11) لجمجمة طفل بعمر 10 سنوات، أخذت صور CT المتعاقبة بفاصل 0.62 ملم وذلك من أجل إعادة إنتاج سطوح دقيقة وناعمة للنَّموذج وذلك من أجل تحسين النتائج مقارنة بالدراسات السابقة (Tanne, Hiraga et al. 1989, Jafari, Shetty et al. 1998, Işeri, Tekkaya et al. 1991, Tanne and Sakuda 2003, Katada, Katada et al. 2005, Holberg, Mahaini et al. 2007, Holberg, Panigrahi and Vineeth Holberg et al. 2008, Gautam, Valiathan et al. 2009 ،2009)

2-3-1-2- جهاز حاسوب مواصفاته :

- المعالج : intel(R) Core (TM) i3 CPU M350 @ 2.27GHz (4CPUs) .~2.3GHz >
- نظام التشغيل : (7600 Build .6.1) بت -32 windows 7 ultimate

2-3-1-3-برنامج هندسي خاص MIMICS:

Materialise's Interactive Medical Image Control System (MIMICS) (version10.01 Materialise NV, Belgium) من أجل معالجة الصَّورة الطِّبيَّة .

2-3-1-4-برنامج هندسي خاص Geomagic studio :

Geomagic studio (version 12, Geomagic corp., USA) من أجل تحويل النَّموذج السَّطحي إلى نموذج سطح NURBS ، يعتبر هذا البرنامج من أكثر البرامج شعبيَّة في مجال الهندسة العكسيَّة وهو يشمل العديد من الطُّرق التي تعمل على معالجة السَّطح بجميع أجزائه انطلاقاً من نموذج سطحي، وهو يعتبر مناسب للتَّطبيقات الطِّبيَّة بسبب البنية المعقدة للنُّسج الحيوية.

وتم اللُّجوء إلى برنامج (Power shape 2012(Delcam من أجل إصلاح المشاكل الصَّغيرة التي عجز برنامج Geomagic studio 12عن حلِّها .

2-3-1-5-برنامج هندسي خاص Unigraphics :

Unigraphics NX (version7.5,Siements,German) من أجل تحويل نموذج سطح NURBS إلى نموذج مجسم ، يعدُّ برنامج Unigraphics أحد أهم برامج التَّصميم بواسطة الكمبيوتر CAD وهو يحوي العديد من طرق الحصول على نموذج مجسم من بينها ضمٌّ أو تجميع stitching السُّطوح الحرة مع بعضها من أجل الحصول على نموذج مجسم.

2-3-1-6-برنامج هندسي خاص ANSYS:

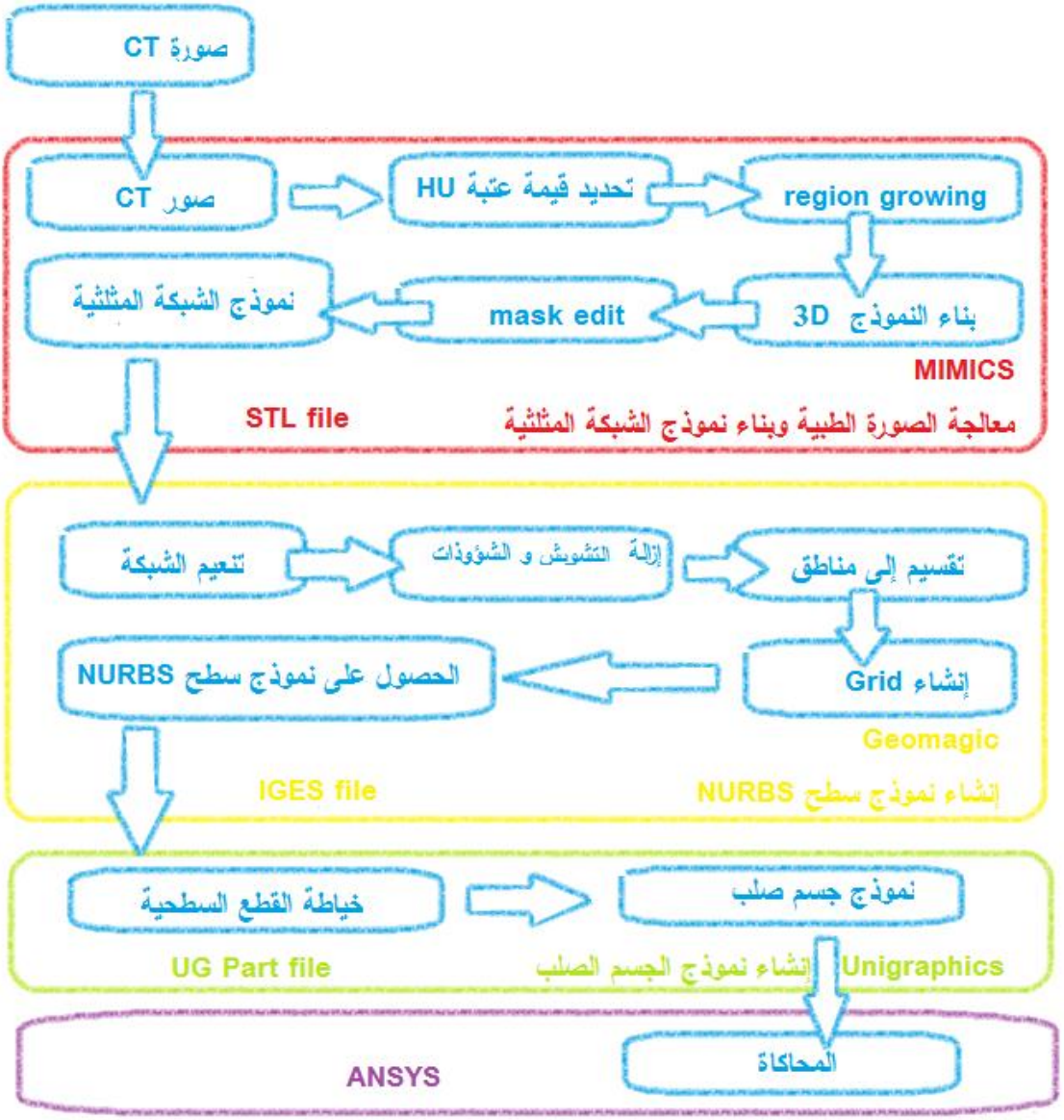
ANSYS Workbench version 13.0 (Belcan Engineering Group, Downers Grove,Ill) لإجراء تحليل العناصر المنتهية .

2-3-2- طرائق البحث :

تضمنت طريقة البحث ثلاث خطوات رئيسيَّة : تصميم النَّموذج ثلاثيّ الأبعاد الخاصّ بتحليل العناصر المنتهية للجمجمة – الحصول على نموذج العناصر المنتهية – النَّتائج .

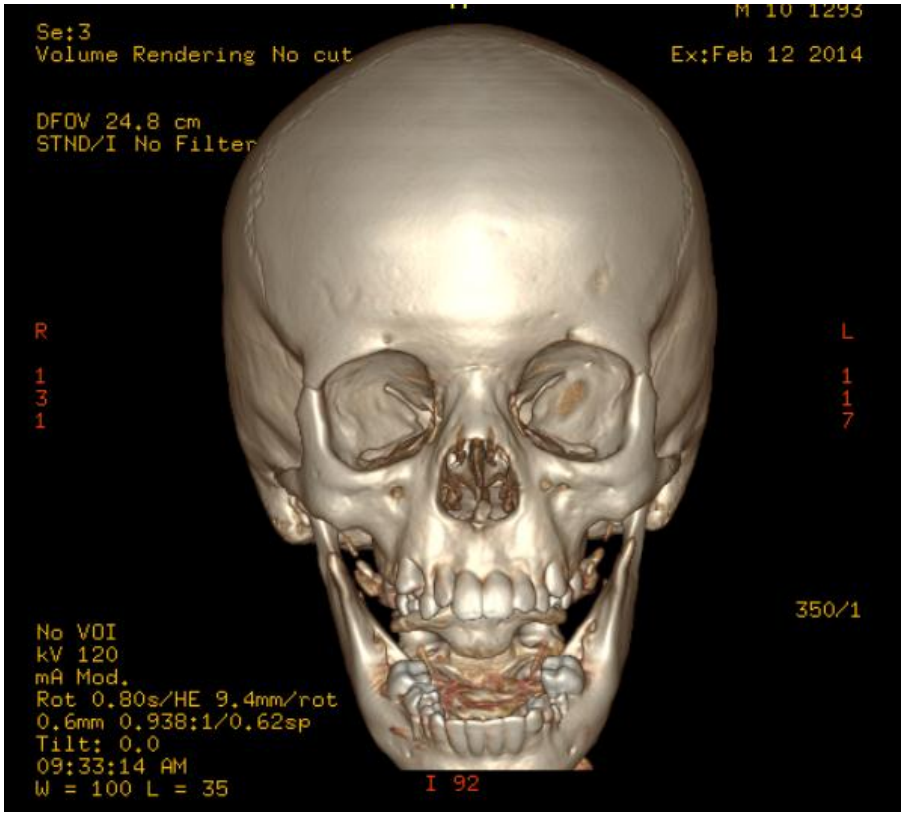
2-3-2- 1- تصميم النَّموذج ثلاثيّ الأبعاد الخاصّ بتحليل العناصر المنتهية للجمجمة:

من أجل الحصول على نموذج مجسم solid دقيق للجمجمة مرَّ تصميم النَّموذج بالمراحل التَّالية والتي لخِّصت بالشَّكل (2-1):



الشَّكل (2–1) مراحل بناء نموذج العناصر المنتهية

2–3–2–1–1–الحصول على صورة CT: تمَّ الحصول على صورة CT لجمجمة ذكر بعمر 10 سنوات وكانت صور ال CT متعاقبة بفاصل 0.62 ملم ، وبالتَّالي حصلنا على نموذج أدق ويقارب الواقع أكثر (الشَّكل 2–2) .



الشّكل(2-2) صورة الطبقي المحوري المحوسب

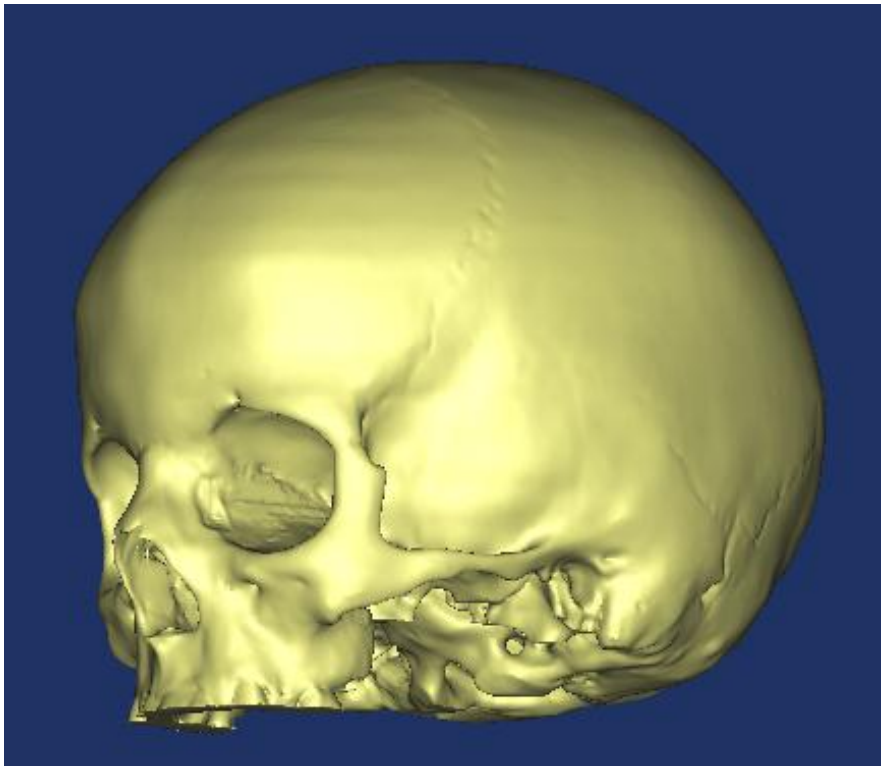
2-3-2-1-2-معالجة الصُّور الطِّبيَّة : تمَّت هذه المرحلة بمساعدة برنامج MIMICS 10.01 حيث تمَّ استيراد صور CT إليه على شكل لاحقة Dicom، ومن ثمَّ تمَّت معالجة الصُّورة وبناء النَّموذج السَّطحي باستخدام أدوات معالجة الصُّورة ضمن البرنامج، حيث تمَّ أولاً تحديد قيمة عتبة هاونسفيلد HU Threshold value أيّ الكثافة العظمية وهي مسبقة التَّعريف ضمن البرنامج، وهي تساوي للعظم (Min =226 , Max = 3071)، ثمَّ تمَّ تحديد الجزء المراد نمذجته بأداة region growing، وتمَّ العمل على إزالة الفك السُّفلي والأسنان حيث لم نقم بنمذجة الأسنان لعدم وضوح الرِّباط حول السِّني حيث تكمن السَّيئة الهامة للتَّصوير المقطعي المحوسب في عدم القدرة على إظهار الرِّباط و الأسنان بدقة حتَّى الصُّور المأخوذة بفاصل 0.5ملم ولكن قد نتمكن من التَّمييز عند استخدام micro CT كما

في الشَّكل (2–3)، وهناك بعض الدِّراسات التي قامت بنمذجة الأسنان والعظام ولكنَّها لم توضِّح مكان التَّداخل بين الأسنان والعظم (نمذجة الرِّباط حول السِّني) ولذلك فإنَّ جميع تلك الدِّراسات تفتقر إلى الدِّقة لكون الخصائص الفيزيائيَّة للرِّباط تختلف عن تلك للأسنان والعظم، وبالتَّالي ولتجنب أي تناقضات متعلقة بعدم دقة نمذجة الأسنان والرِّباط باستخدام صورة CT قمنا بإزالة الأسنان والرِّباط حيث تناولت الدِّراسة تحليل الانزياحات فقط على المركب القحفي الوجهي كعظم فقط .



الشَّكل (2–3) يوضِّح الفرق في الدِّقة بين صورة CT في اليسار و صورة micro CT في اليمين من حيث القدرة على تمييز الرِّباط حول السِّني (Liu, Ru et al 2013)

ومن ثمَّ تمَّ الحصول على النَّموذج السَّطحي بأداة 3d calculation، كلُّ العمليات السَّابقة تمَّت بشكلٍ اتوماتيكي بمساعدة البرنامج، ولكن هناك بعض العمليات اليدويَّة كتعديل القناع mask editing تمَّ القيام بها يدوياً حيث ساعدت على إزالة كلّ الأجزاء غير الضَّروريَّة والشَّاذة وتشذيب السَّطح قدر الإمكان. وأخيراً تمَّ حفظ العمل على شكل لاحقة STL من أجل التَّحضير للمرحلة اللَّاحقة وتصديره لبرنامج Geomagic studio 12 .



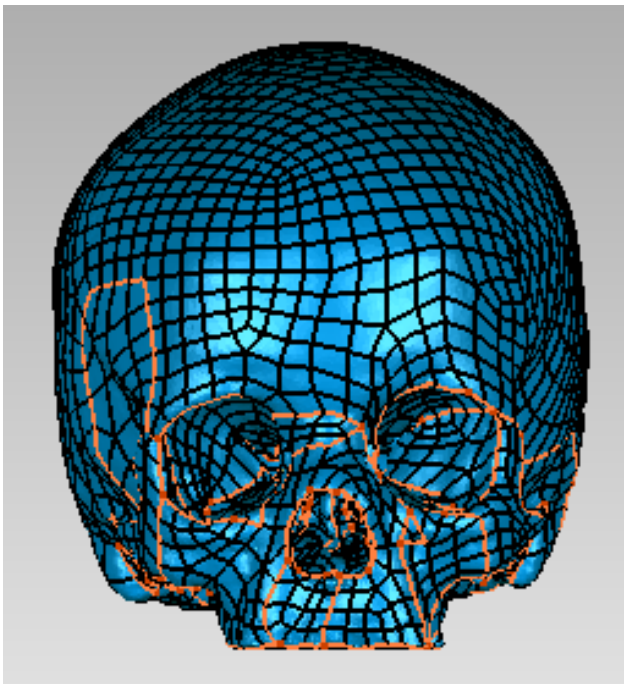
الشَّكل (2-4) النَّموذج السَّطحي الذي تمَّ الحصول عليه من برنامج MIMICS و المستخدم في البحث

2-3-2-1-3- تحويل النَّموذج السَّطحي إلى نموذج سطح NURBS: تمَّت هذه المرحلة بواسطة برنامج Geomagic studio 12 ، حيث هدفت هذه المرحلة إلى الحصول على سطح جيد بنوعيَّة عالية وبدون أخطاء.

تناول العمل ضمن برنامج Geomagic studio 12 عدَّة خطوات فبعد أن تمَّ فتح الملف ضمن هذا البرنامج تمَّ العمل أولاً على إصلاح النَّموذج وتنعيمه وهذا أمر ضروريّ لكون النَّموذج المبني على صور CT حاوي على خشونة في السَّطح بسبب كون التَّصوير بواسطة الCT هو تصوير غير متواصل وبالتَّالي نحن بحاجة إلى ما يعوِّض عن الفراغ بين الطَّبقات المتقاربة وسبب آخر لخشونة السطح هي أنَّ العمليَّات التي تعمل على معالجة الصُّورة قد تؤدي إلى عدم استمرارية البيكسلات Pixels في الطَّبقة الواحدة، يقوم برنامج

Geomagic studio 12 بتنعيم الشَّبكة بدرجة جيِّدة مع أخطاء محدودة جداً، ومن ثمَّ تمَّت أيضاً إزالة التشويش noise، وإزالة الشُّوذات، إغلاق الأنفاق الصَّغيرة وكان ذلك بمساعدة أداة mesh doctor .

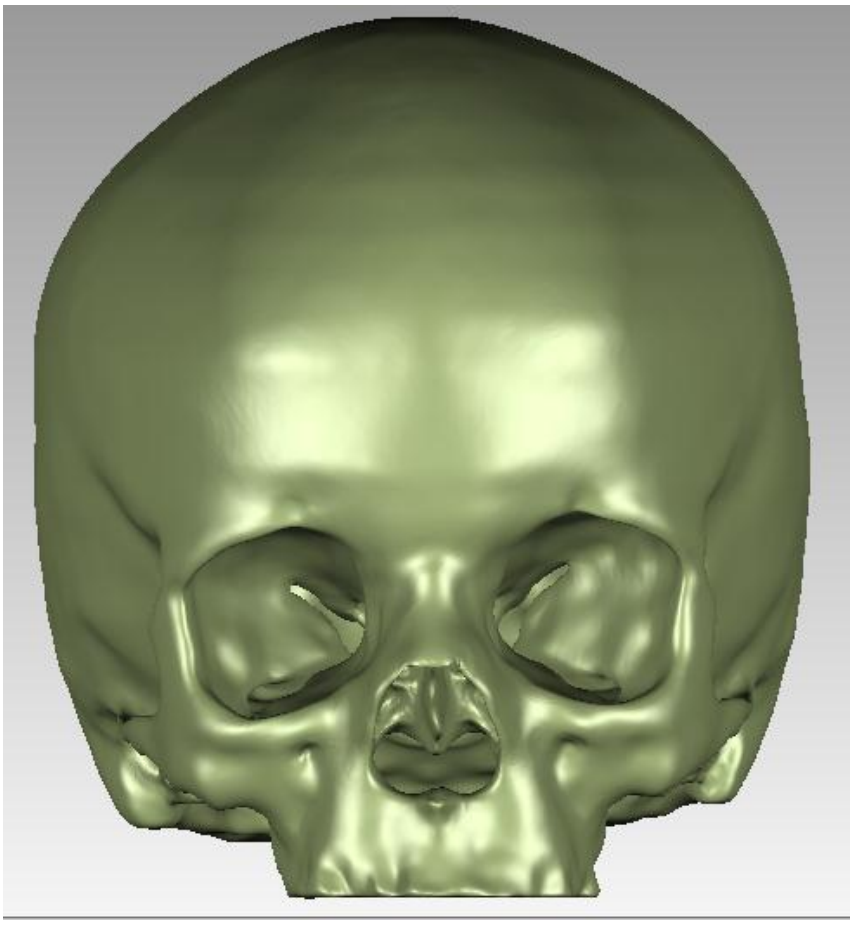
الخطوة التَّالية كانت التَّحضير لإنشاء السَّطح وذلك بتقسيم السَّطح إلى عدَّة مناطق (تدعى بقع Patches) لها شكل مستطيل، قدَّم برنامج Geomagic studio 12 حلول أتوماتيكية من أجل ملاءمة السَّطح، ولكن تمَّ استخدام بعض الأدوات اليدويّة التي ساعدت على تقسيم السَّطح وإصلاح الأخطاء المرتكبة أثناء هذه العمليَّة، حيث تشكلت أخطاء كتشكل مناطق مثلثية بدلاً من المستطيل فتمَّ العمل على إصلاحها عن طريق تحريك نقاط الاتصال .



الشَّكل(2-5) النَّموذج بعد تقسيمه إلى مناطق صغيرة بواسطة برنامج Geomagic studio

هناك بعض الأخطاء التي لم يتمكن Geomagic studio 12 من إصلاحها لذلك تمَّ اللُّجوء إلى استخدام برنامج آخر Power shape 2012 (Delcam) ، واستخدمت أداة solid doctor لتصحيح هذه الأخطاء حيث تمَّ إصلاح بعضها بشكل يدويّ والآخر بشكل أتوماتيكي .

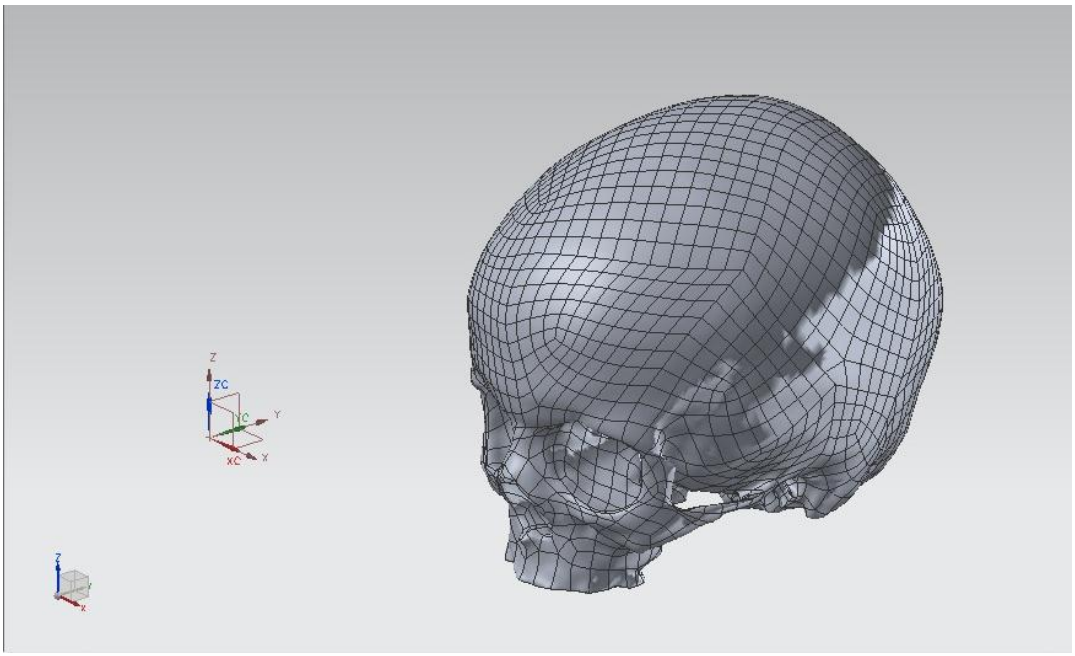
وبعد الانتهاء من التخلص من الأخطاء تم العمل على إنشاء السَّطح وتشكيل NURBS surface ، ومن ثمَّ تمَّ حفظ الملف بلاحقة IGES من أجل تصديره إلى برنامج Unigraphics NX 7.5 .



الشَّكل (2-6) نموذج سطح NURBS الذي تمَّ الحصول عليه بواسطة برنامج Geomagic studio و المستخدم في البحث

2-3-2-1-4-تحويل نموذج سطح NURBS إلى نموذج مجسم :

تتضمن هذه الخطوة العمل على تجميع البقع السَّطحيَّة إلى بعضها البعض من أجل بناء النَّموذج المجسم وذلك من خلال استخدام برنامج Unigraphics NX 7.5 . تعتبر الخطوة السَّابقة لهذه المرحلة في غاية الأهميّة وتتطلب درجة عالية من الدِّقة وذلك لأن وجود أي مشكلة أو تقييد بين أي بقعتين متتاليتين ولم تتمكن عملية التَّجميع من تجاهلها فإنّها سوف تؤدي إلى فشل في عملية بناء النَّموذج المجسم، تمَّ تصدير الملف بلاحقة UG part إلى برنامج العناصر المنتهية .

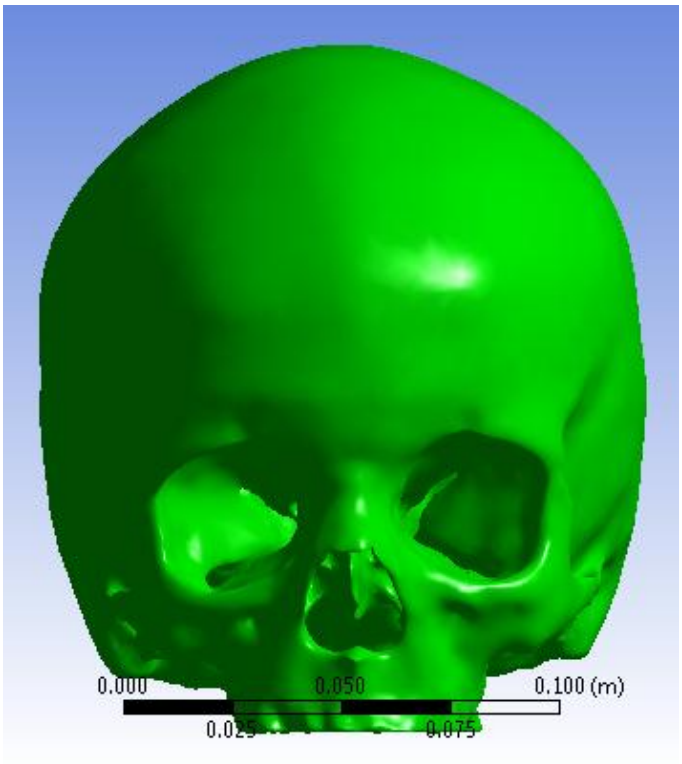


الشَّكل(2-7) النَّموذج المجسم solid الذي تمَّ الحصول عليه من خلال برنامج Unigraphics والمستخدم في البحث

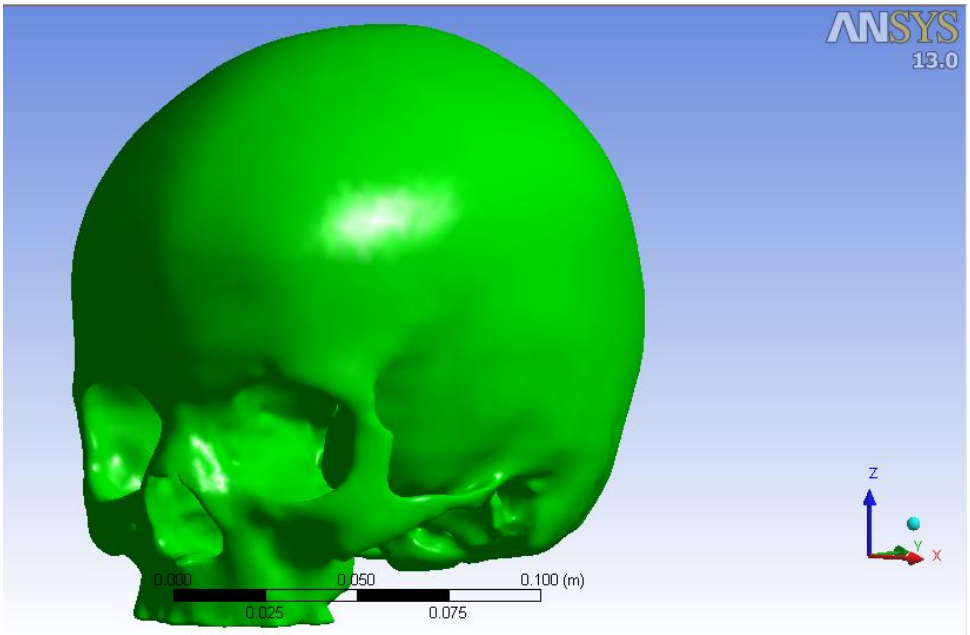
2-3-2-2-الحصول على نموذج العناصر المنتهية :

مرت هذه العملية بعدة مراحل هي :

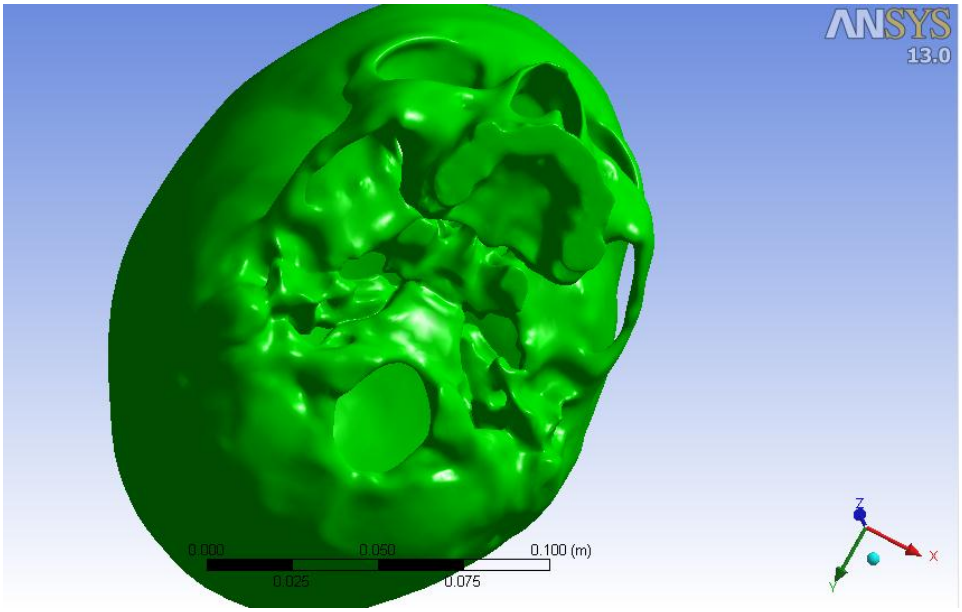
1- مرحلة استيراد النَّموذج Modeling



الشَّكل (2-8) النَّموذج المستخدم في البحث في برنامج العناصر المنتهية



الشَّكل (2-9) النَّموذج المستخدم في البحث في برنامج العناصر المنتهية

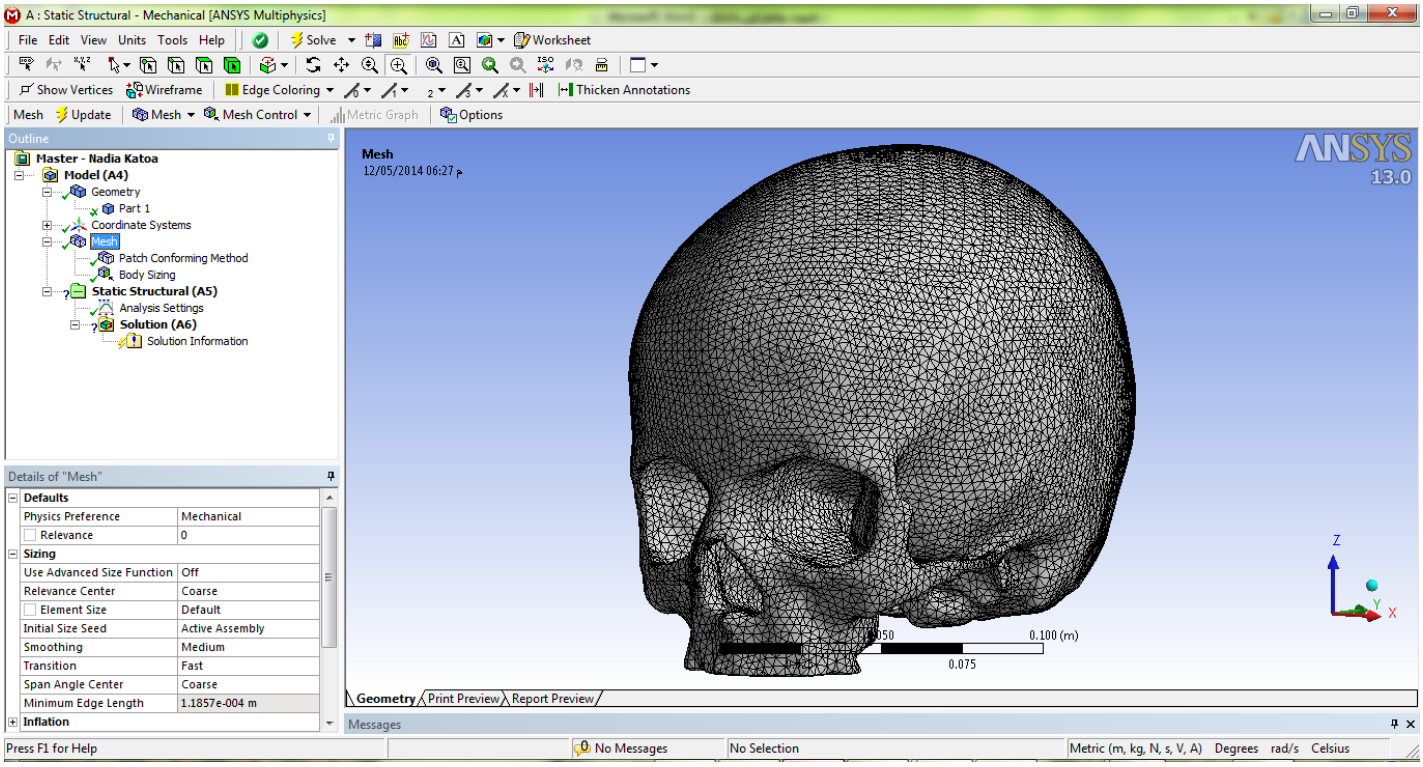


الشَّكل (2-10) النَّموذج المستخدم في البحث في برنامج العناصر المنتهية

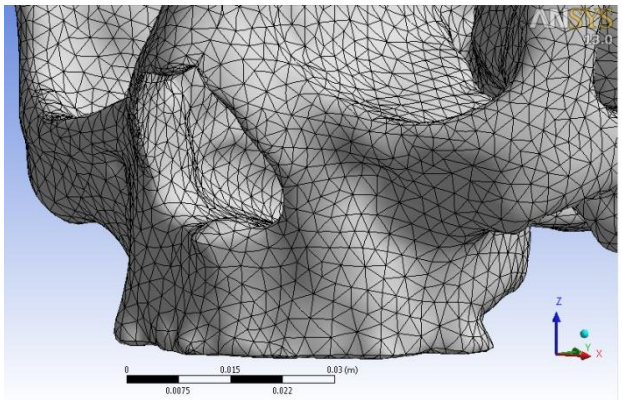
2- مرحلة التَّقطيع Mesh :

تم اختيار عنصر هرمي ثلاثي الأبعاد tetrahydron وتم اختيار قياس ضلع الهرم ب 3ملم، وعليه كان عدد العناصر التي تؤلِّف النَّموذج 181956عنصر، وعدد العقد 302057عقدة .

ثمَّ تمَّ إدخال الخصائص الميكانيكية للنَّموذج التي تمَّ تعريفها Young's moduli للعظم عند الأطفال في بداية مرحلة الإطباق الدَّائم والذي يساوي 13.7 غيغاباسكال و Poisson'ratio يساوي 0.3 , (Tanne, , Tanne and Matsubara 1996 (Matsubara et al. 1993 (Holberg, Holberg et al. 2008)



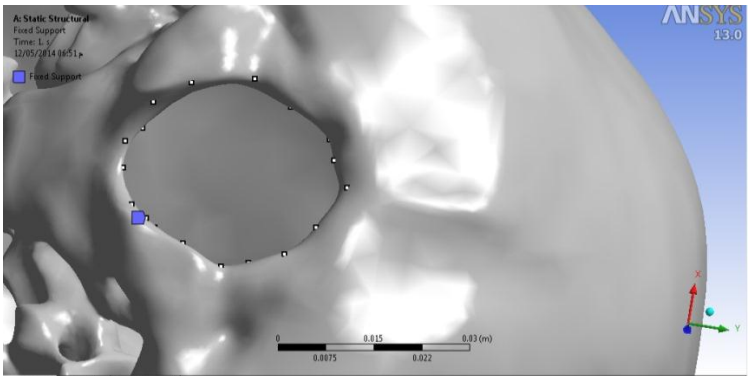
الشَّكل (2-11) تقطيع النَّموذج إلى عناصر صغيرة



الشكل (2-12) نموذج العناصر المنتهية المستخدم في البحث

3- مرحلة setup:

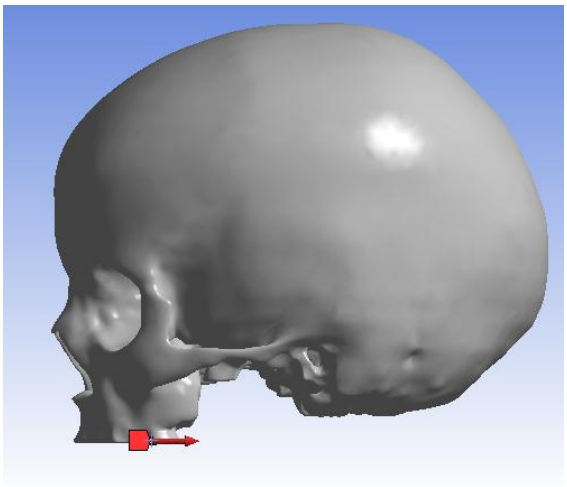
تم في هذه المرحلة تحديد أماكن التَّثبيت و إعداد الحمولات . تمَّ تثبيت نموذج العناصر المنتهية بجعل الانزياحات والدَّورانات تساوي الصِّفر في العقد الموجودة في منطقة الثُّقبة الكبرى .



الشَّكل (2-13) أماكن التَّثبيت في العقد الموجودة في الثُّقبة الكبرى

بالنسبة للقوة تم تحديد :

- مكان تطبيق القوة في منطقة الرَّحى الأولى الدَّائمة بالطَّرفين(الشَّكل2-14)

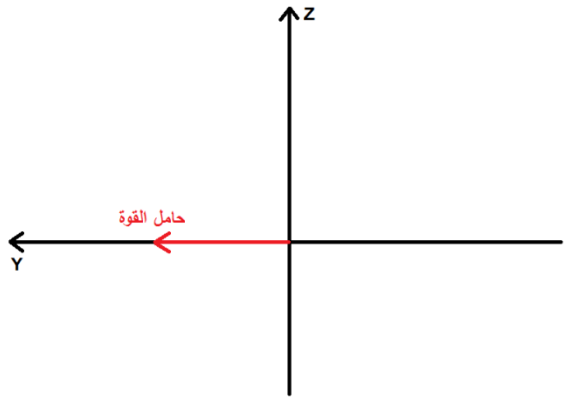


الشَّكل(2-14) مكان تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم

– قيمة القوة : تم تطبيق حالتين 5 و10نيوتن بالطَّرفين مع كل نمط شد.

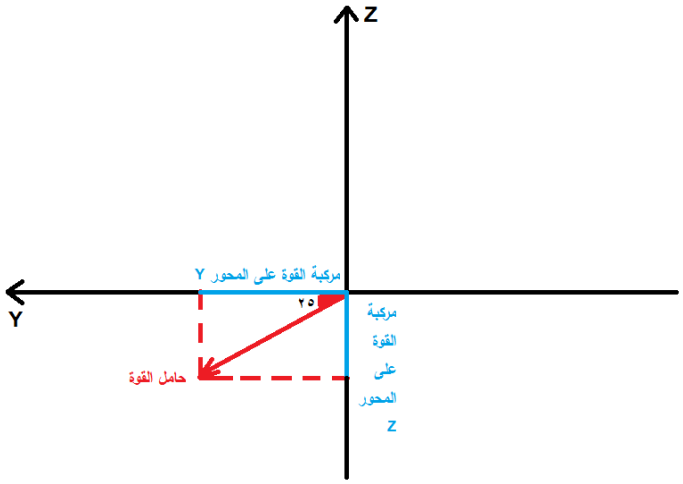
– اتجاه القوة : تم تطبيق ثلاث حالات مختلفة لاتجاه القوة لمحاكاة أنماط الشَّد الثَّلاثة المختلفة لحزام الرَّأس:

1– لمحاكاة حزام الرَّأس ذي الشَّد المستقيم تمَّ تطبيق قوة موازية للمستوى الحنكي(المستوى الحنكي منطبق على المحور Y)، في هذه الحالة كانت مركِّبة القوة فقط على محور Y وكانت تساوي 5 أو 10 (حسب القوة المطبقة 5 أو 10 نيوتن) أمَّا مركِّبة القوة على محور Z كانت تساوي الصفر(الشكل2–15)



الشَّكل(2–15) حامل القوة في حالة الشَّد المستقيم

2– لمحاكاة حزام الرَّأس ذي الشَّد العنقي تمَّ تطبيق قوة بزاوية 25˚ للأسفل من المستوى الحنكي ، وبالتَّالي كانت مركِّبة القوة على المحاور Y و Z مبيَّنة بالجدول (2–1) و (الشَّكل2–16) .

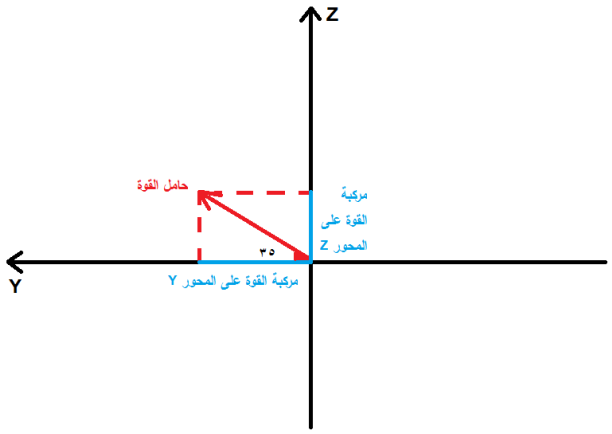


الشَّكل (2-16) حامل القوة في حالة الشَّد العنقي

	القوة 5 نيوتن	القوة 10 نيوتن
مركِّبة القوة على محور Y	=cos˚25*5 4.53 =0.906*5	=cos˚25*10 9.06 =0.906*10
مركِّبة القوة على محور Z	=sin˚25*5- 2.11- =0.422*5-	= sin˚25*10- 4.22- =0.422*10-

الجدول (2-1) حساب مركِّبتي القوة على المحاور Y,Z

3- لمحاكاة حزام الرَّأس ذي الشَّد العالي تمَّ تطبيق بزاوية 35˚للأعلى من المستوى الحنكي ، وبالتَّالي كانت مركِّبة القوة على المحاور Y و Z مبيَّنة بالجدول (2-2) و (الشَّكل 2-17)



الشَّكل (2-17) حامل القوة في حالة الشَّد العالي

	القوة 5 نيوتن	القوة 10 نيوتن
مركِّبة القوة على محور Y	=cos˚35*5 4.095 =0.819*5	=cos˚35*10 8.19 =0.819*10
مركِّبة القوة على محور Z	=sin˚35*5 2.865 = 0.573*5	=sin˚35*10 5.73 =0.573*10

الجدول (2-2) حساب مركِّبتي القوة على المحاور Y,Z

4- مرحلة الحل Solve .

5- مرحلة إظهار النَّتائج Result:

تمكنَّا من الحصول على النَّتائج بشكل انزياحات بالملم للبنى القحفية الوجهية المختلفة والتي تمَّ تقيمها على المحاور X,Y,Z مع أنماط شد حزام الرَّأس المختلفة وعند تطبيق قيمتي القوة.

كما تمكنَّا من الحصول على الانفعالات الدُّنيا والعليَّا في كلِّ المتغيرات القحفية المدروسة.

تمَّت دراسة المتغيرات التَّالية:

النُّقطة A	**الفك العلوي**
شوك الأنف الأمامي ANS	
شوك الأنف الخلفي PNS	
الحدبة الفكيَّة	
النَّاتئ الوجني	
حافة الحجاج السُّفلية	
النَّاتئ الجبهي	
العلوي	**جدار حفرة الأنف**
الوحشي	
السُّفلي	
الجسم	**عظم الأنف**
النَّاتئ الجبهي	**العظم الوجني**
النَّاتئ الصِّدغي	
النَّاتئ الفكي	
الجسم	
النَّاتئ الوجني	**العظم الجبهي**
حافة الحجاج العلوية	
النَّاتئ الوجني	**العظم الصِّدغي**
الحفرة المفصلية	
الجناح الكبير	**العظم الوتدي**
الجناح الصَّغير	

الجدول (2-3) المتغيرات القحفية المدروسة

البَابُ الثَّالث:

النَّتائج

Results

3-1- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون :

تمَّ حساب الحد الأدنى والحد الأعلى لانتقالات البنى القحفية الوجهية على المحاور الثَّلاثة X,Y,Z مقدَّراً بالميكرون عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 5 نيوتن.

الجدول (3-1) مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون

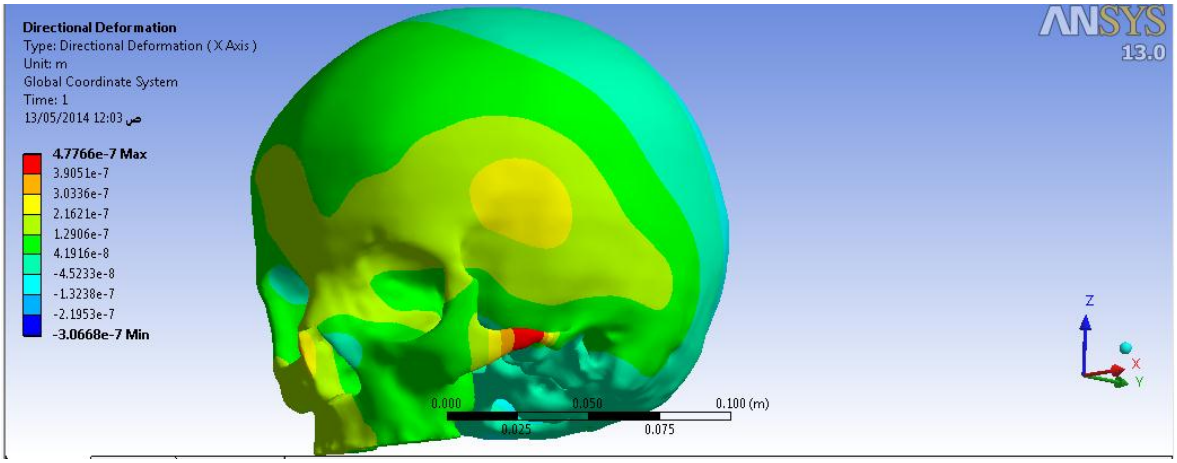
المتغيِّر المدروس		X		Y		Z	
		الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى
الفك العلوي	النُّقطة A	0.21621	0.12906	1.4688	0.94152	-2.0745	-2.5181
	شوك الأنف الأمامي ANS	0.21621	0.12906	1.4688	0.94152	-2.0745	-2.5181
	شوك الأنف الخلفي PNS	0.21621	0.12906	1.4688	0.94152	-0.29999	-0.74362
	الحدبة الفكيَّة	0.12906	0.041916	1.4688	0.94152	-1.1872	-1.6309
	النَّاتئ الوجني	0.12906	0.041916	0.94152	0.41423	-1.6309	-2.0745
	حافة الحجاج السُّفلية	0.12906	0.041916	0.41423	-0.11306	-1.6309	-2.0745
	النَّاتئ الجبهي	0.21621	0.12906	-0.11306	-0.64035	-2.0745	-2.5181
جدار حفرة الأنف	العلوي	0.21621	0.12906	0.41423	-0.11306	-2.0745	-2.5181
	الوحشي	0.041916	-0.04523	0.41423	-0.11306	-2.0745	-2.5181
	السُّفلي	0.12906	0.041916	0.94152	0.41423	-2.0745	-2.5181
عظم الأنف	الجسم	0.21621	0.12906	-0.11306	-0.64035	-2.0745	-2.5181
العظم الوجني	النَّاتئ الجبهي	0.21621	0.12906	-0.11306	-0.64035	-1.1872	-1.6309
	النَّاتئ الصِّدغي	0.47766	0.39051	0.41423	-0.11306	-0.74362	-1.1872
	النَّاتئ الفكي	0.12906	0.041916	0.94152	0.41423	-1.6309	-2.0745
	الجسم	0.12906	0.041916	0.41423	-0.11306	-1.6309	-2.0745
العظم الجبهي	النَّاتئ الوجني	0.21621	0.12906	-0.64035	-1.1676	-1.1872	-1.6309
	حافة الحجاج العلوية	0.21621	0.12906	-0.64035	-1.1676	-1.6309	-2.0745

العظم الصِّدغي	النَّاتئ الوجني	0.47766	0.39051	0.41423	-0.11306	-0.74362	-1.1872
	الحفرة المفصلية	0.041916	-0.04523	-0.11306	-0.64035	-0.29999	-0.74362
العظم الوتدي	الجناح الكبير	0.12906	0.041916	-0.11306	-0.64035	-0.74362	-1.1872
	الجناح الصَّغير	0.12906	0.041916	-0.64035	-1.1676	-0.74362	-1.1872

على المحور X(المعترض) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأنسي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الوحشي .

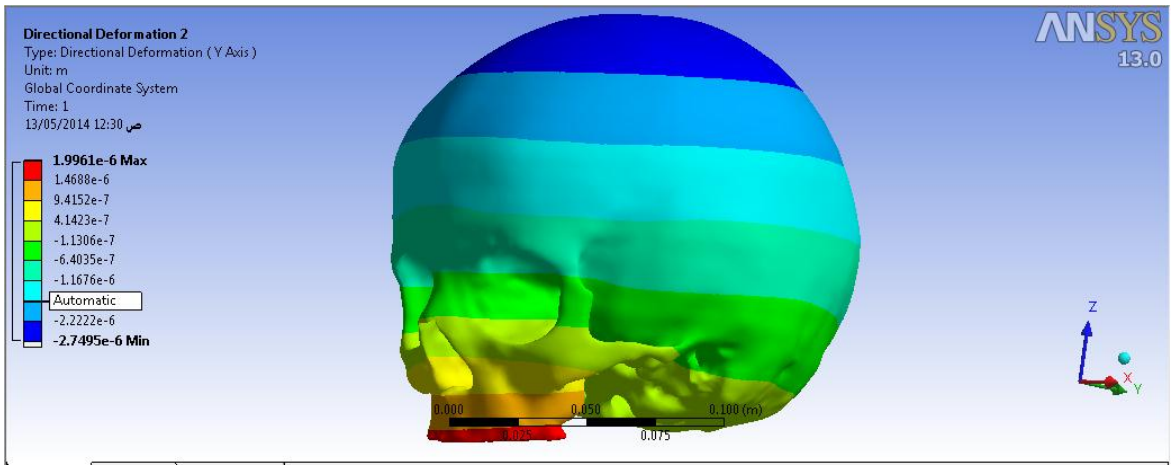
على المحور Y(الأمامي الخلفي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأمامي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الخلفي .

على المحور Z (العمودي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال السُّفلي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال العلوي .



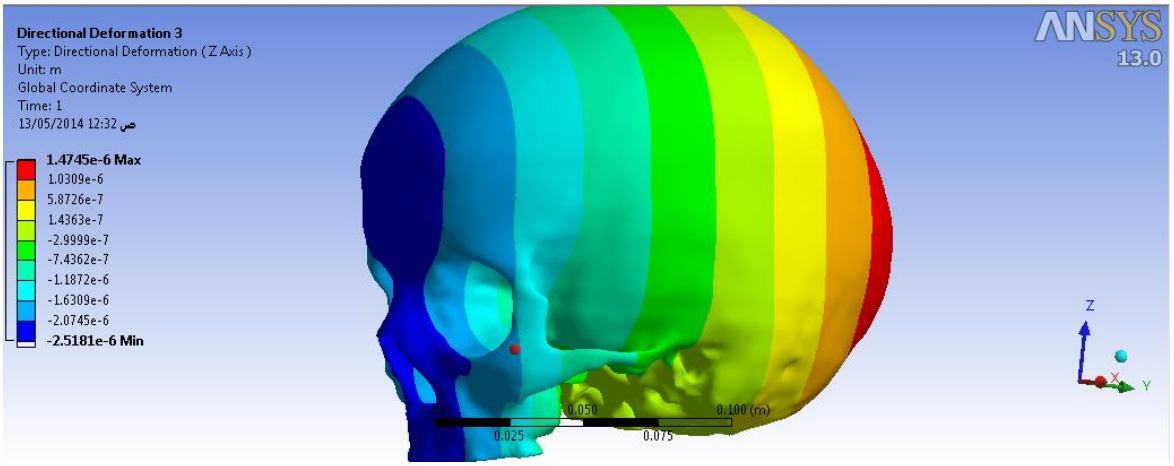
الشَّكل (3-1)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار5 نيوتن.

نلاحظ أن أكبر انتقال نحو الوحشي حصل في مكان الدَّرز الوجني الصِّدغي وحصل انتقال نحو الوحشي أقل في باقي البنى القحفية .



الشَّكل (3-2)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار5 نيوتن.

حدث أكبر انتقال نحو الخلف في النُّقطة A والحدبة الفكية يليها شوك الأنف الأمامي و من ثمَّ شوك الأنف الخلفي و كذلك باقي البنى القحفية انتقلت للخلف ولكن بنسبة أقل.



الشَّكل (3-3)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 5 نيوتن.

حدث أكبر انتقال نحو الأسفل في شوك الأنف الأمامي و النُّقطة A و كان أقل في شوك الأنف الخلفي والحدبة الفكية والعظم الوجني و الصِّدغي .

3-2- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون :

تمَّ حساب الحد الأدنى والحد الأعلى لانتقالات البنى القحفية الوجهية على المحاور الثَّلاثة X,Y,Z مقدَّراً بالميكرون عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 10 نيوتن.

الجدول (3-2) مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون .

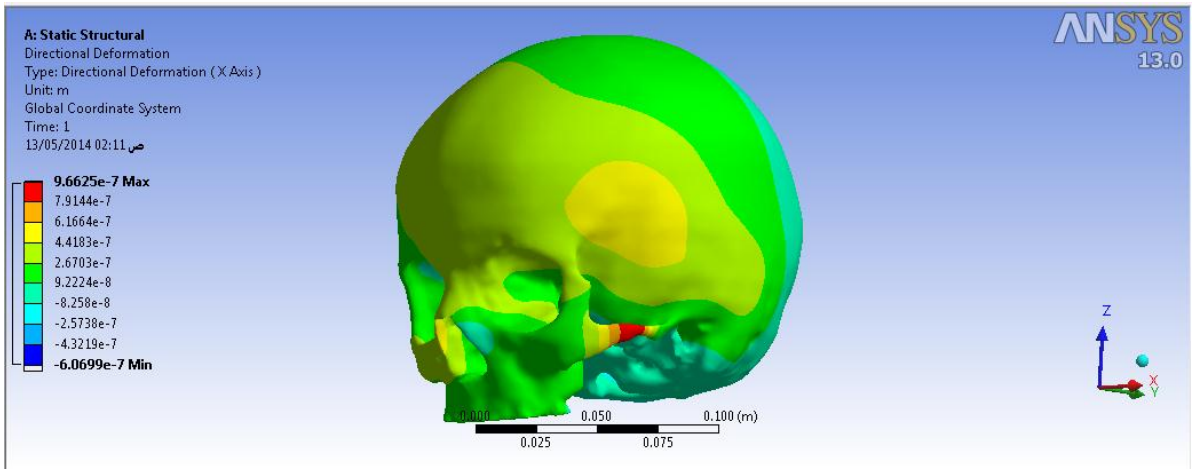
المتغيَّر المدروس		X		Y		Z	
		الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى
الفك العلوي	النُّقطة A	0.26703	0.092224	2.9323	1.8149	-4.4309	-5.3983
	شوك الأنف الأمامي ANS	0.26703	0.092224	2.9323	1.8149	-4.4309	-5.3983

	شوك الأنف الخلفي PNS	0.26703	0.092224	2.9323	1.8149	-1.5348	-2.5002
	الحدبة الفكيَّة	0.26703	0.092224	2.9323	1.8149	-1.5348	-2.5002
	النَّاتئ الوجني	0.26703	0.092224	1.8149	0.69747	-3.4656	-4.4369
	حافة الحجاج السُّفلية	0.26703	0.092224	0.69747	-0.41993	-3.4656	-4.4369
	النَّاتئ الجبهي	0.44183	0.26703	-0.41993	-1.5373	-4.4309	-5.3983
جدار حفرة الأنف	العلوي	0.44183	0.26703	0.69747	-0.41993	-4.4309	-5.3983
	الوحشي	0.092224	-0.08258	1.8149	0.69747	-4.4309	-5.3983
	السُّفلي	0.26703	0.092224	2.9323	1.8149	-4.4309	-5.3983
عظم الأنف	الجسم	0.44183	0.26703	-0.41993	-1.5373	-4.4309	-5.3983
العظم الوجني	النَّاتئ الجبهي	0.44183	0.26703	-0.41993	-1.5373	-2.5002	-4.4309
	النَّاتئ الصِّدغي	0.96625	0.79144	0.69747	-0.41993	-1.5348	-2.5002
	النَّاتئ الفكي	0.26703	0.092224	1.8149	0.69747	-3.4656	-4.4369
	الجسم	0.26703	0.092224	0.69747	-0.41993	-2.5002	-4.4309
العظم الجبهي	النَّاتئ الوجني	0.44183	0.26703	-1.5373	-2.6547	-2.5002	-4.4309
	حافة الحجاج العلوية	0.44183	0.26703	-1.5373	-2.6547	-3.4656	-4.4369
العظم الصِّدغي	النَّاتئ الوجني	0.96625	0.79144	0.69747	-0.41993	-1.5348	-2.5002
	الحفرة المفصلية	0.092224	-0.08258	-0.41993	-1.5373	-5.6945	-1.5348
العظم الوتدي	الجناح الكبير	0.26703	0.092224	-0.41993	-1.5373	-1.5348	-2.5002
	الجناح الصَّغير	0.26703	0.092224	-0.41993	-1.5373	-1.5348	-2.5002

على المحور X(المعترض) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأنسي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الوحشي .

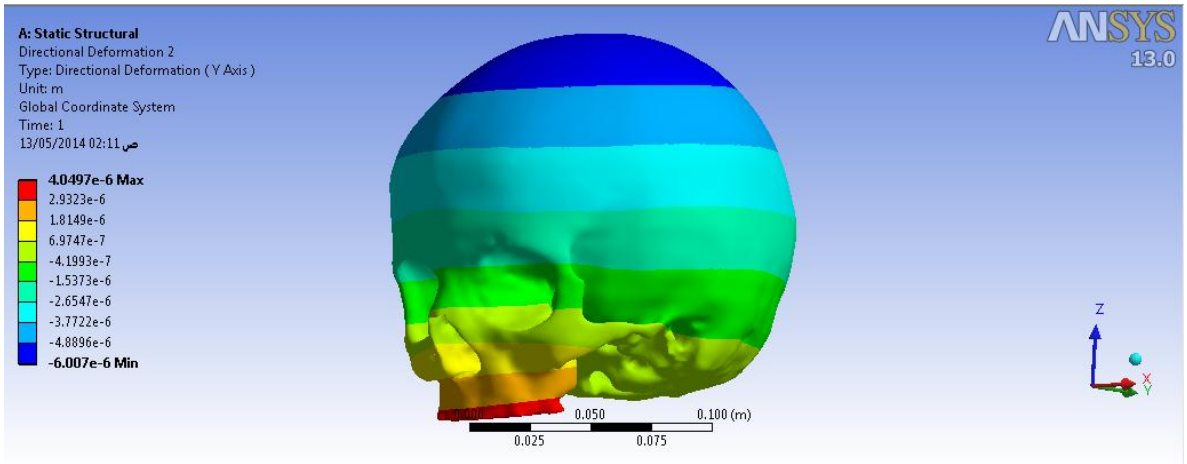
على المحور Y(الأمامي الخلفي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأمامي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الخلفي .

على المحور Z (العمودي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال السُّفلي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال العلوي .



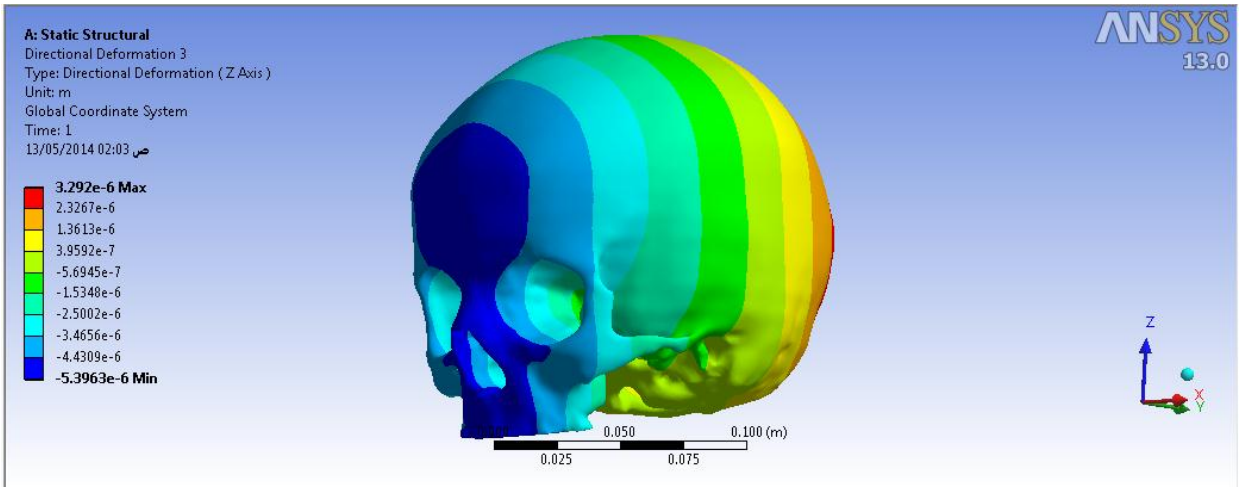
الشَّكل (3-4)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 10 نيوتن.

نلاحظ أن أكبر انتقال نحو الوحشي حصل في مكان الدَّرز الوجني الصِّدغي وحصل انتقال نحو الوحشي أقل في باقي البنى القحفية .



الشَّكل (3-5)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 10 نيوتن.

حدث أكبر انتقال نحو الخلف في الحدبة الفكية يليها شوك الأنف الأمامي والنُّقطة A ومن ثمَّ شوك الأنف الخلفي و كذلك باقي البنى القحفية انتقلت للخلف ولكن بمقدار أقل .



الشَّكل (3-6)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 10 نيوتن.

حدث أكبر انتقال نحو الأسفل في شوك الأنف الأمامي و النُّقطة A و كان أقل في شوك الأنف الخلفي والحدبة الفكية والعظم الوجني و الصِّدغي.

3-3- مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون :

تمَّ حساب ومقارنة الوسط الحسابي لانتقالات البنى القحفية الوجهية على المحاور الثَّلاثة X,Y,Z مقدَّراً بالميكرون عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 5 -10 نيوتن.

الجدول (3-3)مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المستقيم بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون :

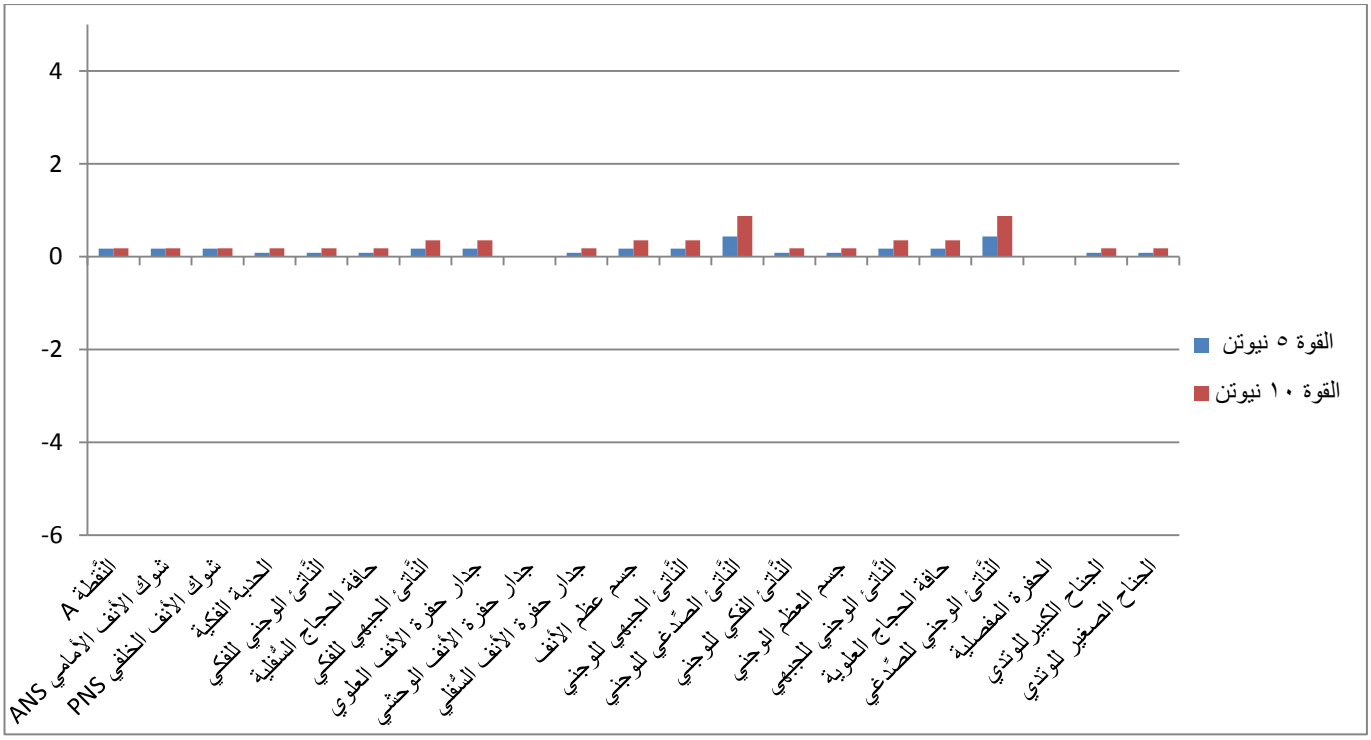
المتغيِّر المدروس		X		Y		Z	
		5 نيوتن	10نيوتن	5 نيوتن	10 نيوتن	5 نيوتن	10 نيوتن
الفك العلوي	النُّقطة A	0.172635	0.179627	1.20516	2.3736	-2.2963	-4.9146
	شوك الأنف الأمامي ANS	0.172635	0.179627	1.20516	2.3736	-2.2963	-4.9146
	شوك الأنف الخلفي PNS	0.172635	0.179627	1.20516	2.3736	-0.52181	-2.0175
	الحدبة الفكيَّة	0.085488	0.179627	1.20516	2.3736	-1.40905	-2.0175
	النَّاتئ الوجني	0.085488	0.179627	0.677875	1.256185	-1.8527	-3.95125

	حافة الحجاج السُّفلية	0.085488	0.179627	0.150585	0.13877	−1.8527	−3.95125
	النَّاتئ الجبهي	0.172635	0.35443	−0.37671	−0.97862	−2.2963	−4.9146
جدار حفرة الأنف	العلوي	0.172635	0.35443	0.150585	0.13877	−2.2963	−4.9146
	الوحشي	−0.001658	0.004822	0.150585	1.256185	−2.2963	−4.9146
	السُّفلي	0.085488	0.179627	0.677875	2.3736	−2.2963	−4.9146
عظم الأنف	الجسم	0.172635	0.35443	−0.37671	−0.97862	−2.2963	−4.9146
العظم الوجني	النَّاتئ الجبهي	0.172635	0.35443	−0.37671	−0.97862	−1.40905	−3.46555
	النَّاتئ الصِّدغي	0.434085	0.878845	0.150585	0.13877	−0.96541	−2.0175
	النَّاتئ الفكي	0.085488	0.179627	0.677875	1.256185	−1.8527	−3.95125
	الجسم	0.085488	0.179627	0.150585	0.13877	−1.8527	−3.46555
العظم الجبهي	النَّاتئ الوجني	0.172635	0.35443	−0.90398	−2.096	−1.40905	−3.46555
	حافة الحجاج العلوية	0.172635	0.35443	−0.90398	−2.096	−1.8527	−3.95125
العظم الصِّدغي	النَّاتئ الوجني	0.434085	0.878845	0.150585	0.13877	−0.96541	−2.0175
	الحفرة المفصلية	−0.001658	0.004822	−0.37671	−0.97862	−0.52181	−3.61465
العظم الوتدي	الجناح الكبير	0.085488	0.179627	−0.37671	−0.97862	−0.96541	−2.0175
	الجناح الصَّغير	0.085488	0.179627	−0.90398	−0.97862	−0.96541	−2.0175

على المحور X(المعترض) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأنسي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الوحشي .

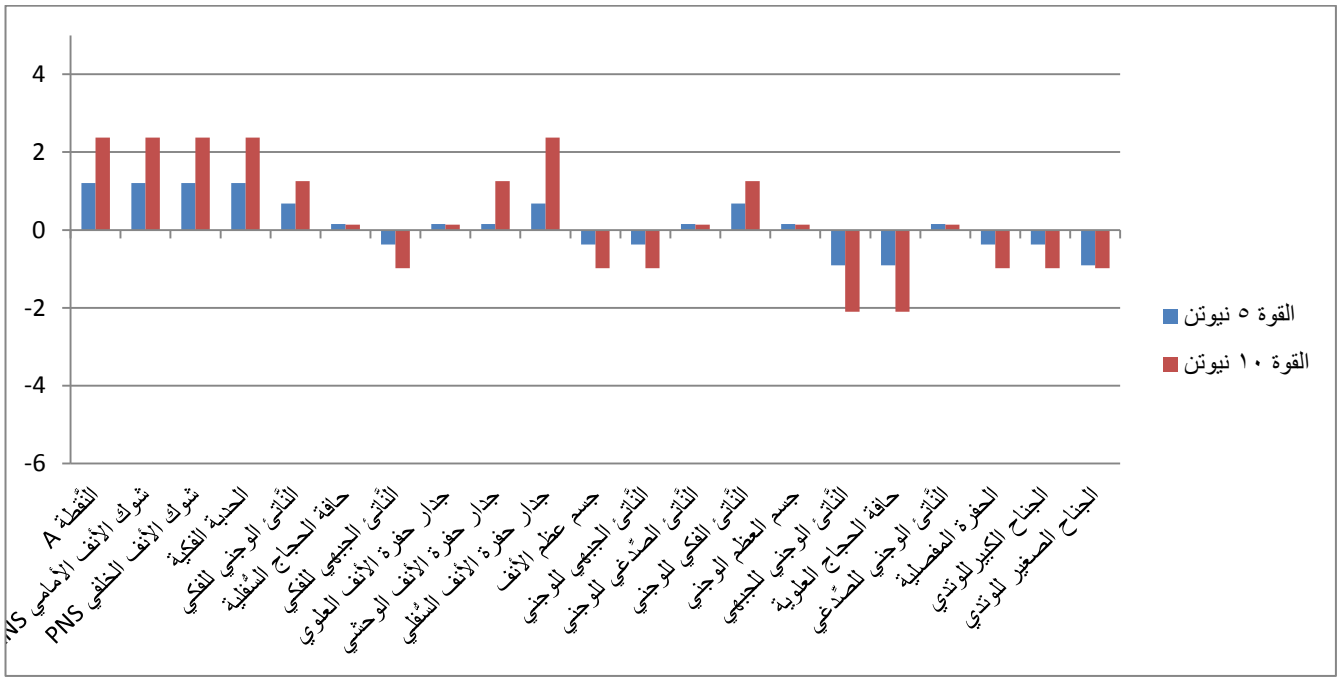
على المحور Y(الأمامي الخلفي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأمامي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الخلفي .

على المحور Z (العمودي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال السُّفلي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال العلوي .



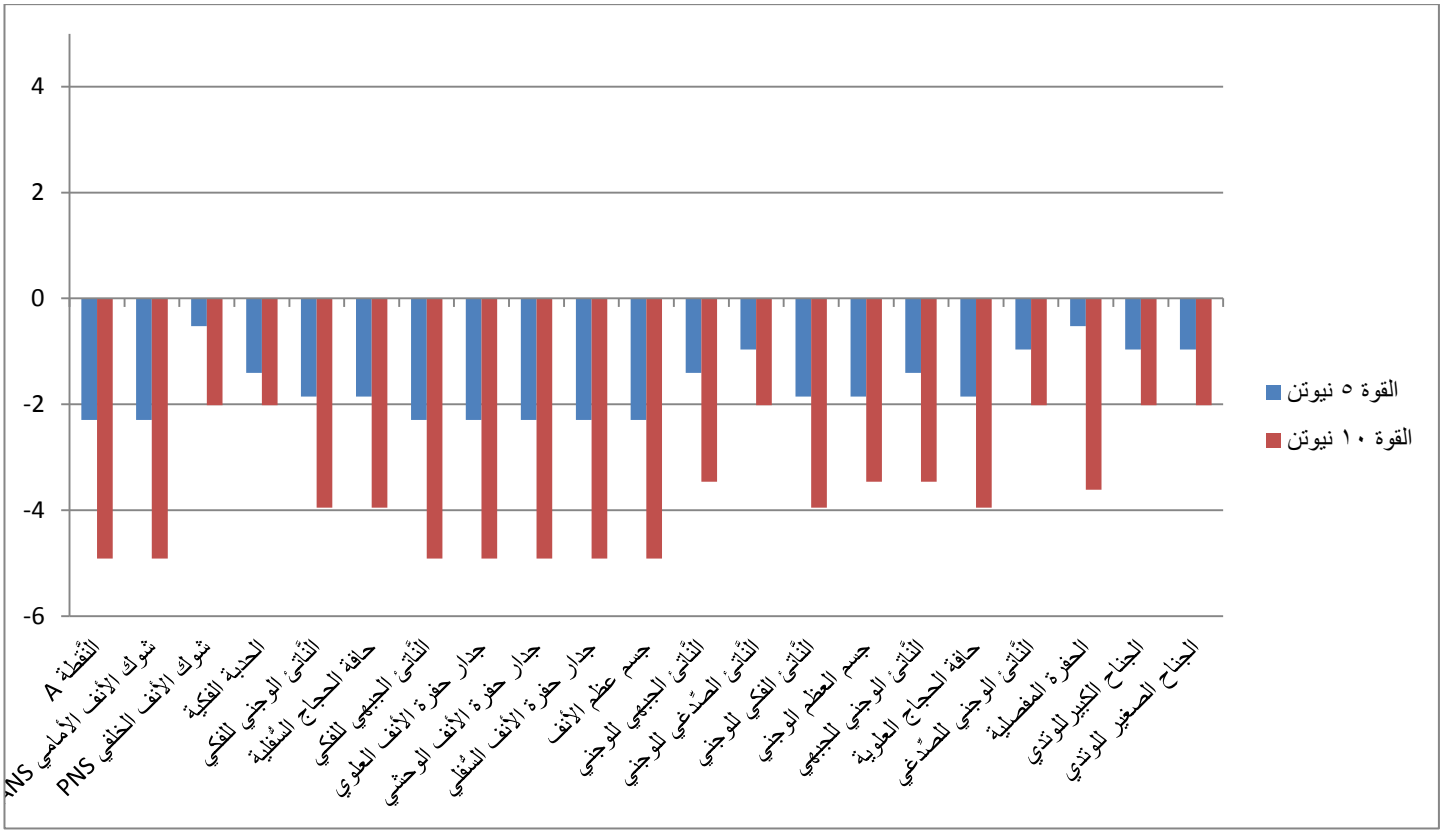
الشَّكل (3-7) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد المستقيم على المحور X

يوضح المخطط حدوث أكبر انتقال للوحشي في منطقة الدَّرز الوجني الصَّدغي و انتقال للوحشي أقل في باقي البنى القحفية في كلا القوتين ولكنه كان أكبر مع القوة 10 نيوتن .



الشَّكل (3-8) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد المستقيم على المحور Y

يوضح المخطط حدوث انتقال نحو الخلف لبنى الفك العلوي و الأنف والعظم الوجني والصِّدغي وانتقال نحو الأمام للعظم الجبهي و الوتدي في كلا القوتين ولكنه كان أكبر مع القوة 10 نيوتن.



الشَّكل (3-9) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد المستقيم على المحور Z

يوضح المخطط انتقال جميع البنى القحفية نحو الأسفل في كلا القوتين و كانت أكبر مع قوة 10 نيوتن .

3-4- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون :

تمَّ حساب الحد الأدنى والحد الأعلى لانتقالات البنى القحفية الوجهية على المحاور الثَّلاثة X,Y,Z مقدَّراً بالميكرون عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بقيمة 5 نيوتن.

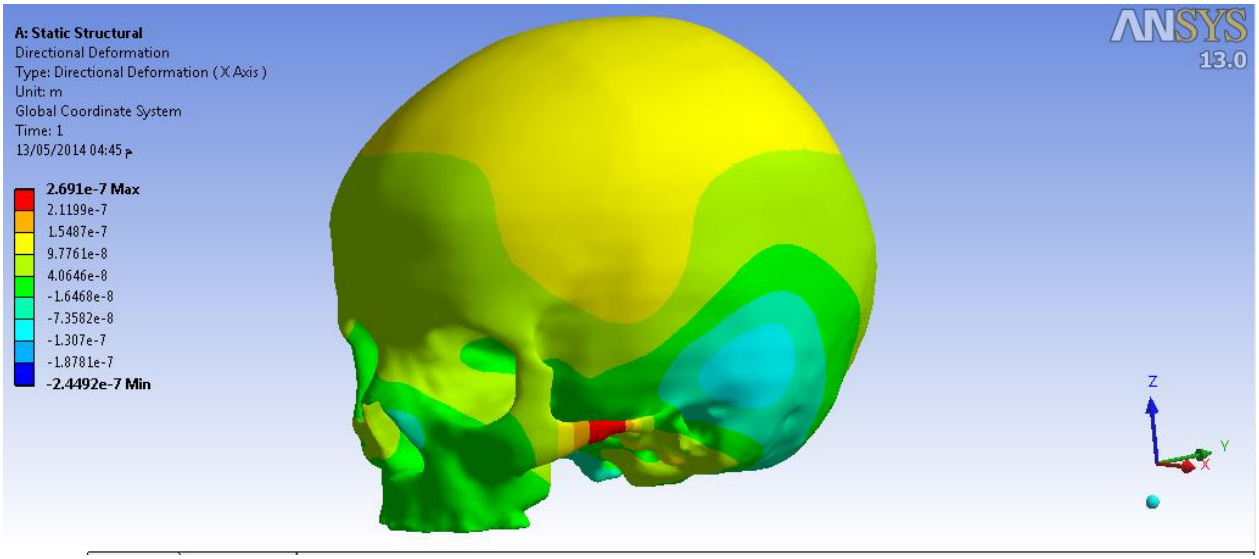
الجدول (3-4) مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون

المتغيِّر المدروس		X		Y		Z	
		الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى
الفك العلوي	النُّقطة A	0.040646	-0.01646	0.59213	-0.08412	-0.27203	-0.3496
	شوك الأنف الأمامي ANS	0.040646	-0.01646	1.2684	0.59213	-0.27203	-0.3496
	شوك الأنف الخلفي PNS	0.040646	-0.01646	1.2684	0.59213	0.34849	0.27093
	الحدبة الفكيَّة	0.040646	-0.01646	0.59213	-0.08412	0.27093	0.19336
	النَّاتئ الوجني	0.040646	-0.01646	1.2684	0.59213	-0.1169	-0.19447
	حافة الحجاج السُّفلية	0.040646	-0.01646	1.2684	0.59213	-0.1169	-0.19447
	النَّاتئ الجبهي	0.097761	0.040646	1.9446	1.2684	-0.1169	-0.19447
جدار حفرة الأنف	العلوي	0.040646	-0.01646	1.9446	1.2684	-0.19447	-0.27203
	الوحشي	0.040646	-0.01646	1.2684	0.59213	-0.27203	-0.3496
	السُّفلي	0.040646	-0.01646	1.2684	0.59213	-0.19447	-0.27203
عظم الأنف	الجسم	0.040646	-0.01646	1.9446	1.2684	-0.19447	-0.27203
العظم الوجني	النَّاتئ الجبهي	0.097761	0.040646	1.9446	1.2684	-0.039336	-0.1169
	النَّاتئ الصِّدغي	0.2691	0.21199	1.2684	0.59213	0.1158	0.03832
	النَّاتئ الفكي	0.040646	-0.01646	1.2684	0.59213	-0.1169	-0.19447
	الجسم	0.040646	-0.01646	1.2684	0.59213	-0.039336	-0.1169
العظم الجبهي	النَّاتئ الوجني	0.097761	0.040646	2.6209	1.9446	-0.039336	-0.1169
	حافة الحجاج العلوية	0.097761	0.040646	2.6209	1.9446	-0.039336	-0.1169
العظم الصِّدغي	النَّاتئ الوجني	0.2691	0.21199	1.2684	0.59213	0.1158	0.03832
	الحفرة المفصلية	0.040646	-0.01646	1.2684	0.59213	0.1158	0.03832
العظم الوتدي	الجناح الكبير	0.097761	-0.01646	1.9446	1.2684	0.27093	0.1158
	الجناح الصَّغير	0.097761	-0.01646	2.6209	1.9446	0.19336	0.1158

على المحور X(المعترض) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأنسي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الوحشي .

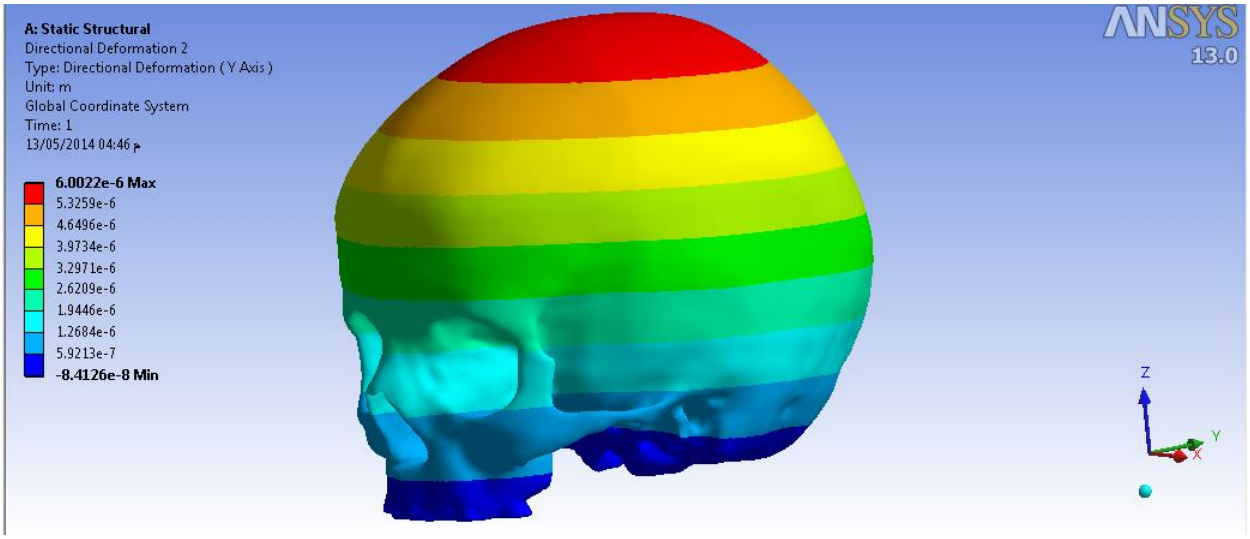
على المحور Y(الأمامي الخلفي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأمامي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الخلفي .

على المحور Z (العمودي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال السُفلي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال العلوي .



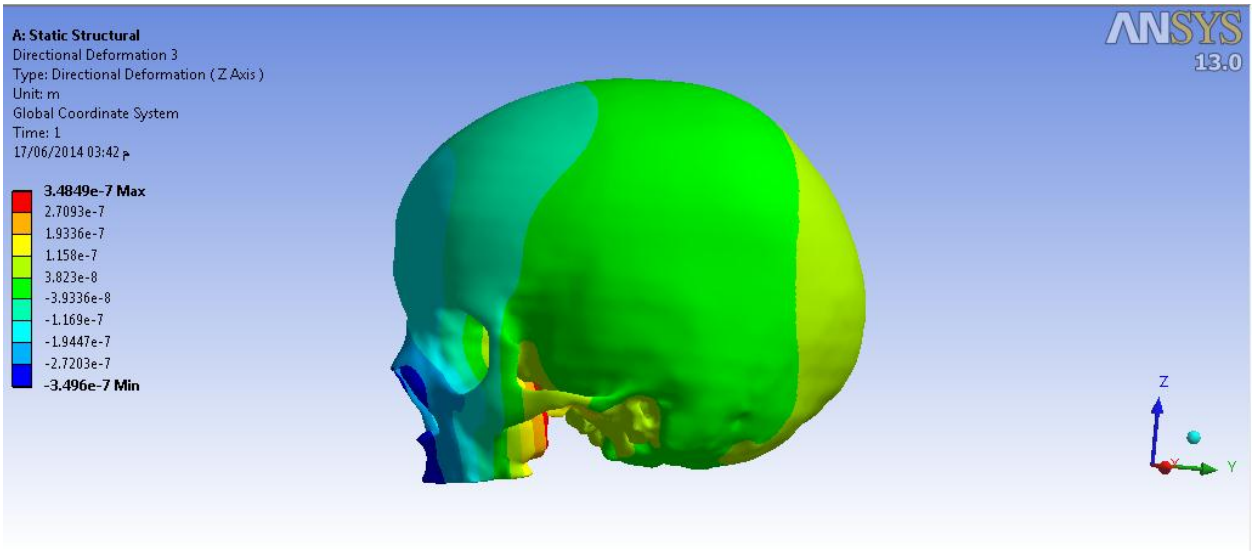
الشَّكل (3-10)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5 نيوتن

نلاحظ أن أكبر انتقال نحو الوحشي حصل في مكان الدَّرز الوجني الصِّدغي وحصل انتقال نحو الوحشي أقل في باقي البنى القحفية .



الشَّكل (3-11)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5 نيوتن

حدث أقل انتقال نحو الخلف في النُّقطة A والحدبة الفكية وشوك الأنف الخلفي يليها شوك الأنف الأمامي و انتقلت باقي البنى القحفية للخلف بنسبة أكبر.



الشَّكل (3-12)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5 نيوتن

حدث أكبر انتقال نحو الأسفل في شوك الأنف الأمامي و النُّقطة A و يليه العظم الوجني و الصِّدغي ، أمَّا الحدبة الفكية وشوك الأنف الخلفي انتقلا نحو الأعلى وكان الانتقال أكبر في شوك الأنف الخلفي .

3-5- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون :

تمَّ حساب الحد الأدنى والحد الأعلى لانتقالات البنى القحفية الوجهية على المحاور الثَّلاثة X,Y,Z مقدَّراً بالميكرون عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 10 نيوتن.

الجدول (3-5) نمط الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون

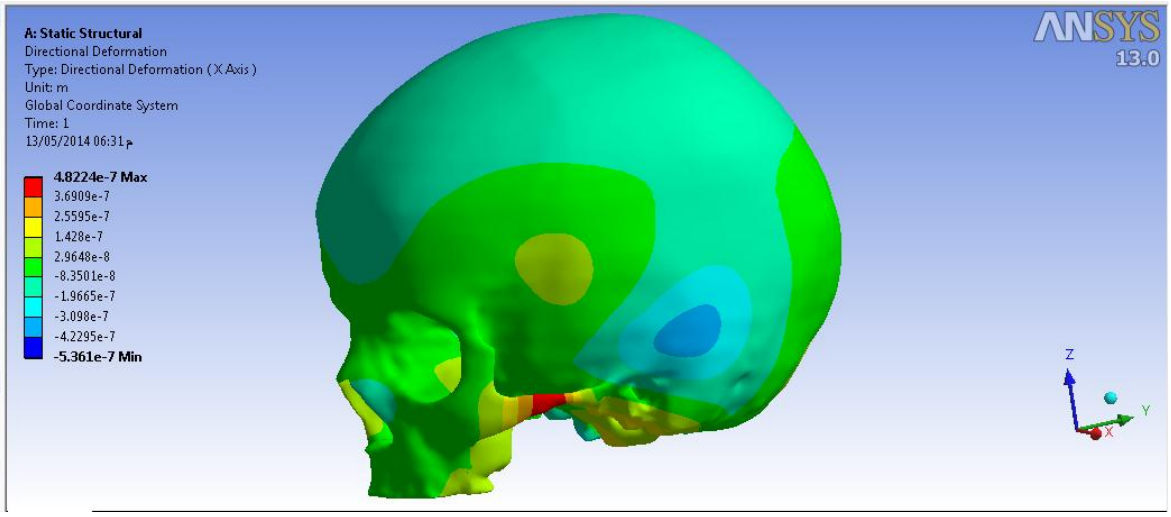
المتغيَّر المدروس		X		Y		Z	
		الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى
الفك العلوي	النُّقطة A	0.029648	-0.08350	1.2954	-0.30186	0.73398	0.5956
	شوك الأنف الأمامي ANS	0.029648	-0.08350	2.8927	1.2954	0.73398	0.5956
	شوك الأنف الخلفي PNS	0.1428	0.029648	1.2954	-0.30186	0.89843	0.73398
	الحدبة الفكيَّة	0.1428	0.029648	1.2954	-0.30186	0.89843	0.73398
	النَّاتئ الوجني	0.029648	-0.08350	2.8927	1.2954	0.73398	0.5956

	حافة الحجاج السُّفلية	0.029648	-0.08350	2.8927	1.2954	0.73398	0.5956
	النَّاتئ الجبهي	0.029648	-0.08350	4.49	2.8927	0.73398	0.5956
جدار حفرة الأنف	العلوي	0.029648	-0.08350	4.49	2.8927	0.73398	0.5956
	الوحشي	0.029648	-0.08350	2.8927	1.2954	0.73398	0.5956
	السُّفلي	0.029648	-0.08350	2.8927	1.2954	0.73398	0.5956
عظم الأنف	الجسم	0.029648	-0.08350	4.49	2.8927	0.73398	0.5956
العظم الوجني	النَّاتئ الجبهي	0.029648	-0.08350	4.49	2.8927	0.73398	0.5956
	النَّاتئ الصِّدغي	0.48224	0.36909	2.8927	1.2954	0.73398	0.5956
	النَّاتئ الفكي	0.029648	-0.08350	2.8927	1.2954	0.73398	0.5956
	الجسم	0.029648	-0.08350	2.8927	1.2954	0.73398	0.5956
العظم الجبهي	النَّاتئ الوجني	0.029648	-0.08350	6.0873	4.49	0.89843	0.73398
	حافة الحجاج العلوية	0.029648	-0.08350	6.0873	4.49	0.89843	0.73398
العظم الصِّدغي	النَّاتئ الوجني	0.48224	0.36909	2.8927	1.2954	0.40513	0.2407
	الحفرة المفصلية	0.029648	-0.08350	2.8927	1.2954	0.2407	0.07273
العظم الوتدي	الجناح الكبير	0.029648	-0.08350	4.49	2.8927	0.73398	0.5956
	الجناح الصَّغير	0.029648	-0.08350	6.0873	4.49	0.73398	0.5956

على المحور X(المعترض) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأنسي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الوحشي .

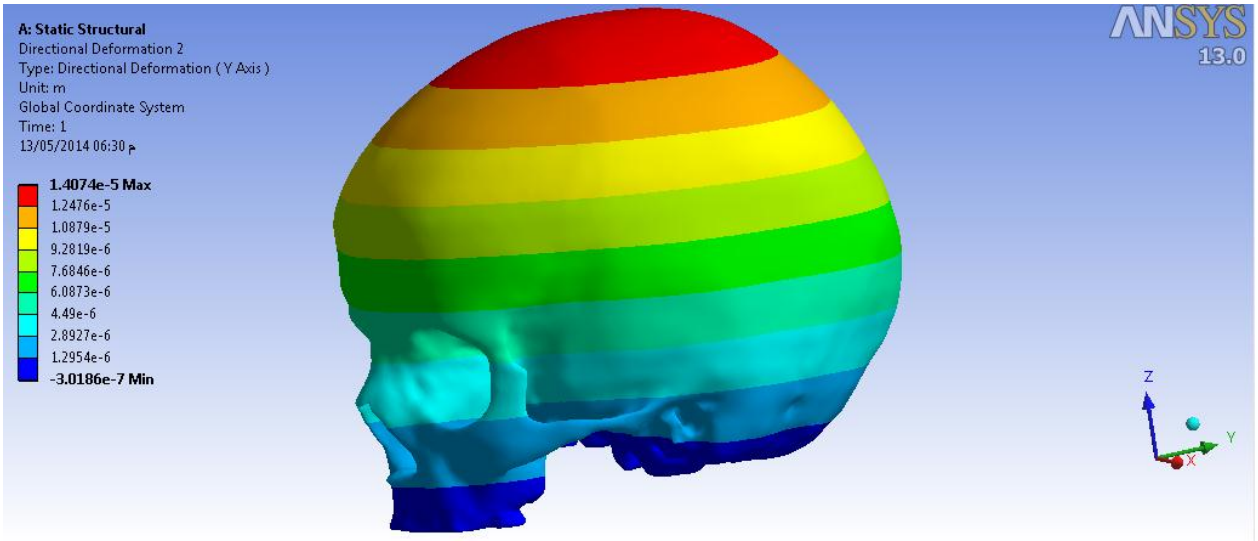
على المحور Y(الأمامي الخلفي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأمامي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الخلفي .

على المحور Z (العمودي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال السُّفلي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال العلوي .



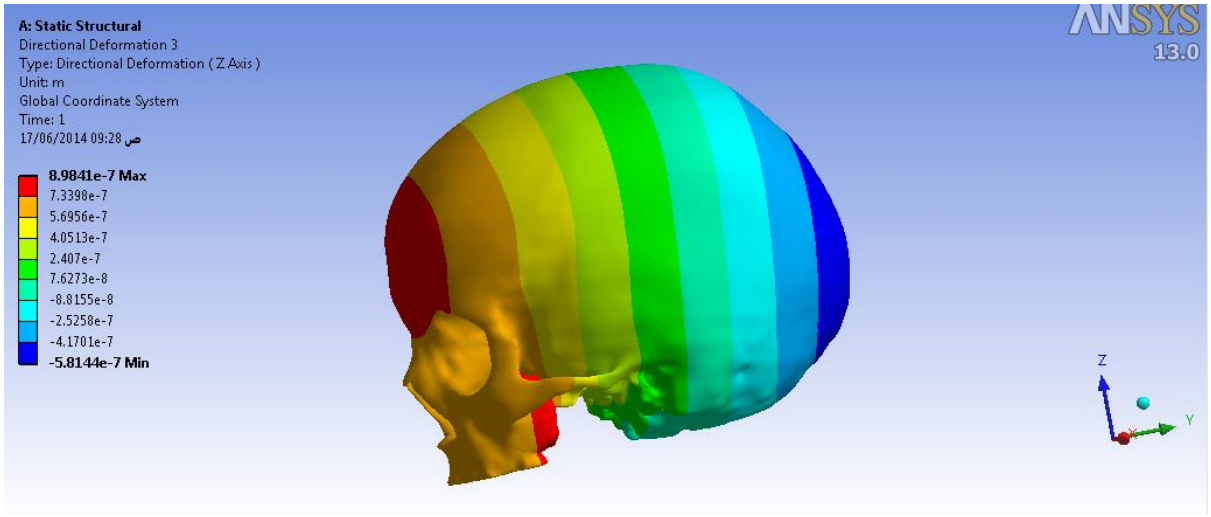
الشَّكل (3-13)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 10 نيوتن

نلاحظ أن أكبر انتقال نحو الوحشي حصل في مكان الدَّرز الوجني الصِّدغي وحصل انتقال نحو الوحشي أقل في باقي البنى القحفية .



الشَّكل (3-14)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 10 نيوتن .

حدث أقل انتقال نحو الخلف في النُّقطة A والحدبة الفكية وشوك الأنف الخلفي يليها شوك الأنف الأمامي وانتقلت باقي البنى القحفية للخلف بنسبة أكبر.



الشَّكل (3-15)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 10 نيوتن .

انتقلت جميع البنى القحفية نحو الأعلى ولكن كان انتقال شوك الأنف الخلفي والحدبة الفكية أعلى يليه شوك الأنف الأمامي والنُّقطة A .

3-6- مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون :

تمَّ حساب ومقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال البنى القحفية الوجهية على المحاور الثَّلاثة X,Y,Z مقدَّراً بالميكرون عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5 -10 نيوتن.

الجدول (3-6)مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد العالي بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون :

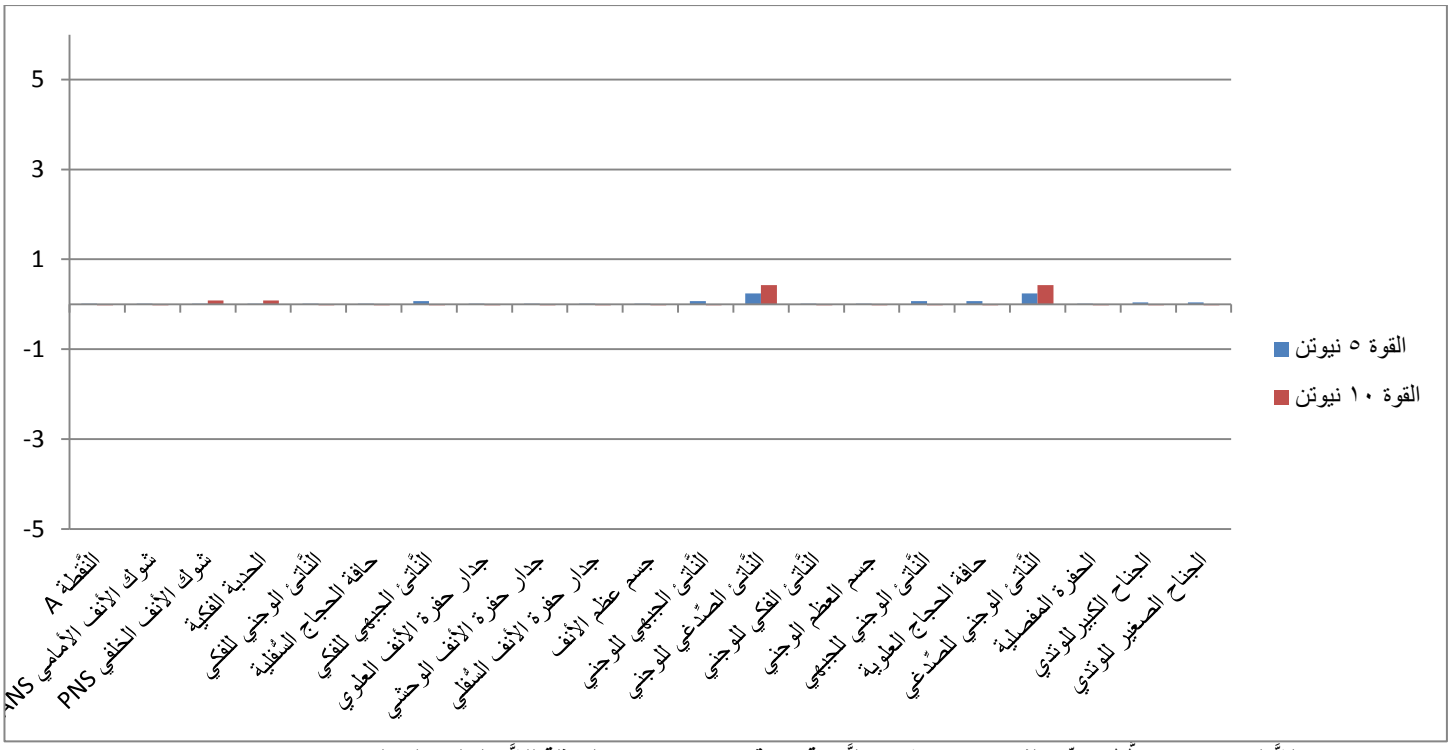
المتغيِّر المدروس		X		Y		Z	
		5 نيوتن	10نيوتن	5 نيوتن	10 نيوتن	5 نيوتن	10 نيوتن
الفك العلوي	النُّقطة A	0.012089	-0.02693	0.254002	0.49677	-0.31082	0.66479
	شوك الأنف الأمامي ANS	0.012089	-0.02693	0.930265	2.09405	-0.31082	0.66479
	شوك الأنف الخلفي PNS	0.012089	0.086224	0.930265	0.49677	0.30971	0.816205
	الحدبة الفكيَّة	0.012089	0.086224	0.254002	0.49677	0.232145	0.816205
	النَّاتئ الوجني	0.012089	-0.02693	0.930265	2.09405	-0.15569	0.66479
	حافة الحجاج السُّفلية	0.012089	-0.02693	0.930265	2.09405	-0.15569	0.66479
	النَّاتئ الجبهي	0.069204	-0.02693	1.6065	3.69135	-0.15569	0.66479
جدار حفرة الأنف	العلوي	0.012089	-0.02693	1.6065	3.69135	-0.23325	0.66479
	الوحشي	0.012089	-0.02693	0.930265	2.09405	-0.31082	0.66479
	السُّفلي	0.012089	-0.02693	0.930265	2.09405	-0.23325	0.66479
عظم الأنف	الجسم	0.012089	-0.02693	1.6065	3.69135	-0.23325	0.66479
العظم الوجني	النَّاتئ الجبهي	0.069204	-0.02693	1.6065	3.69135	-0.07812	0.66479
	النَّاتئ الصِّدغي	0.240545	0.425665	0.930265	2.09405	0.07706	0.66479
	النَّاتئ الفكي	0.012089	-0.02693	0.930265	2.09405	-0.15569	0.66479
	الجسم	0.012089	-0.02693	0.930265	2.09405	-0.07812	0.66479
العظم الجبهي	النَّاتئ الوجني	0.069204	-0.02693	2.28275	5.28865	-0.07812	0.816205
	حافة الحجاج العلوية	0.069204	-0.02693	2.28275	5.28865	-0.07812	0.816205
العظم	النَّاتئ الوجني	0.240545	0.425665	0.930265	2.09405	0.07706	0.322915

الصِّدغي	الحفرة المفصلية	0.012089	-0.02693	0.930265	2.09405	0.07706	0.156715
العظم الوتدي	الجناح الكبير	0.040647	-0.02693	1.6065	3.69135	0.193365	0.66479
	الجناح الصَّغير	0.040647	-0.02693	2.28275	5.28865	0.15458	0.66479

على المحور X(المعترض) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأنسي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الوحشي .

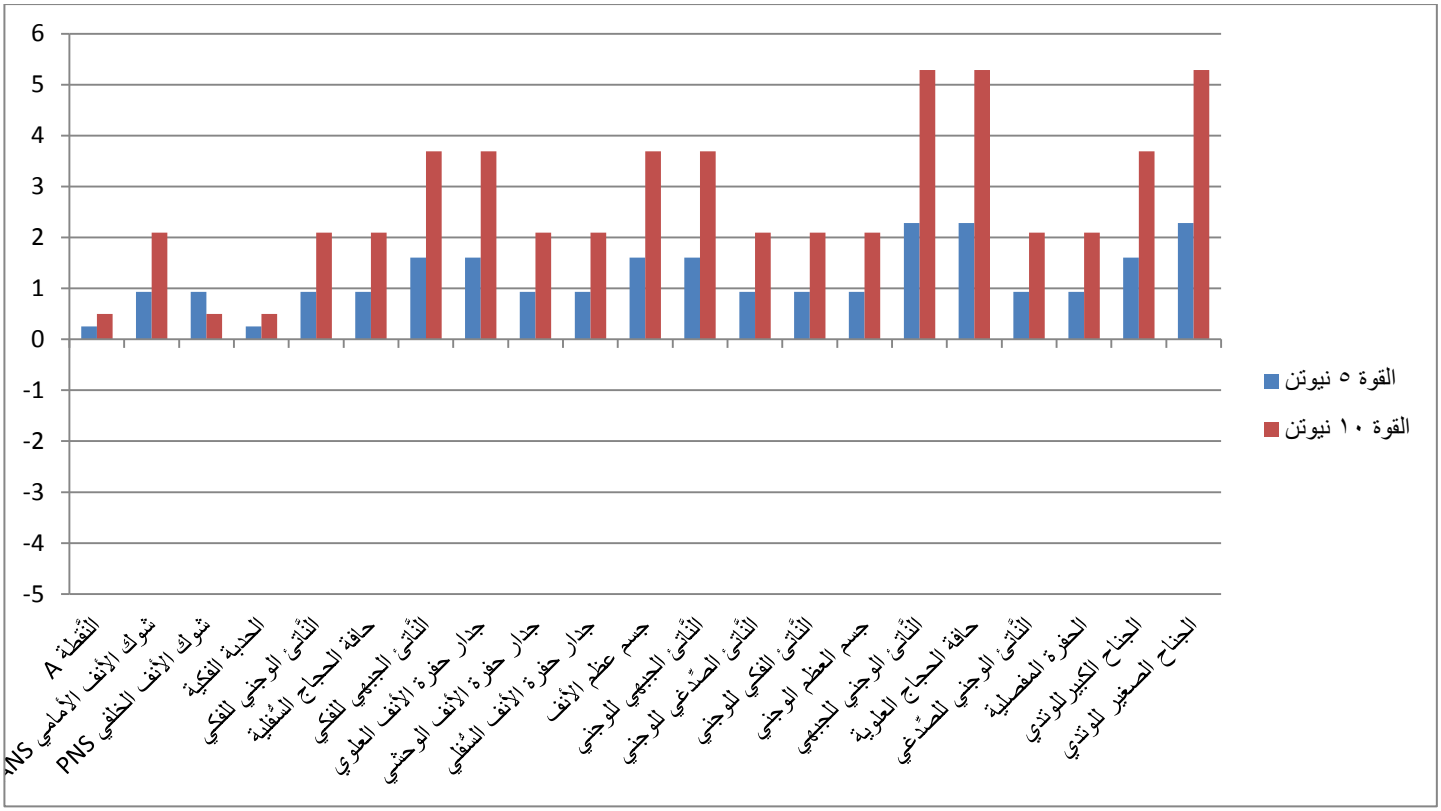
على المحور Y(الأمامي الخلفي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأمامي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الخلفي .

على المحور Z (العمودي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال السُّفلي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال العلوي .



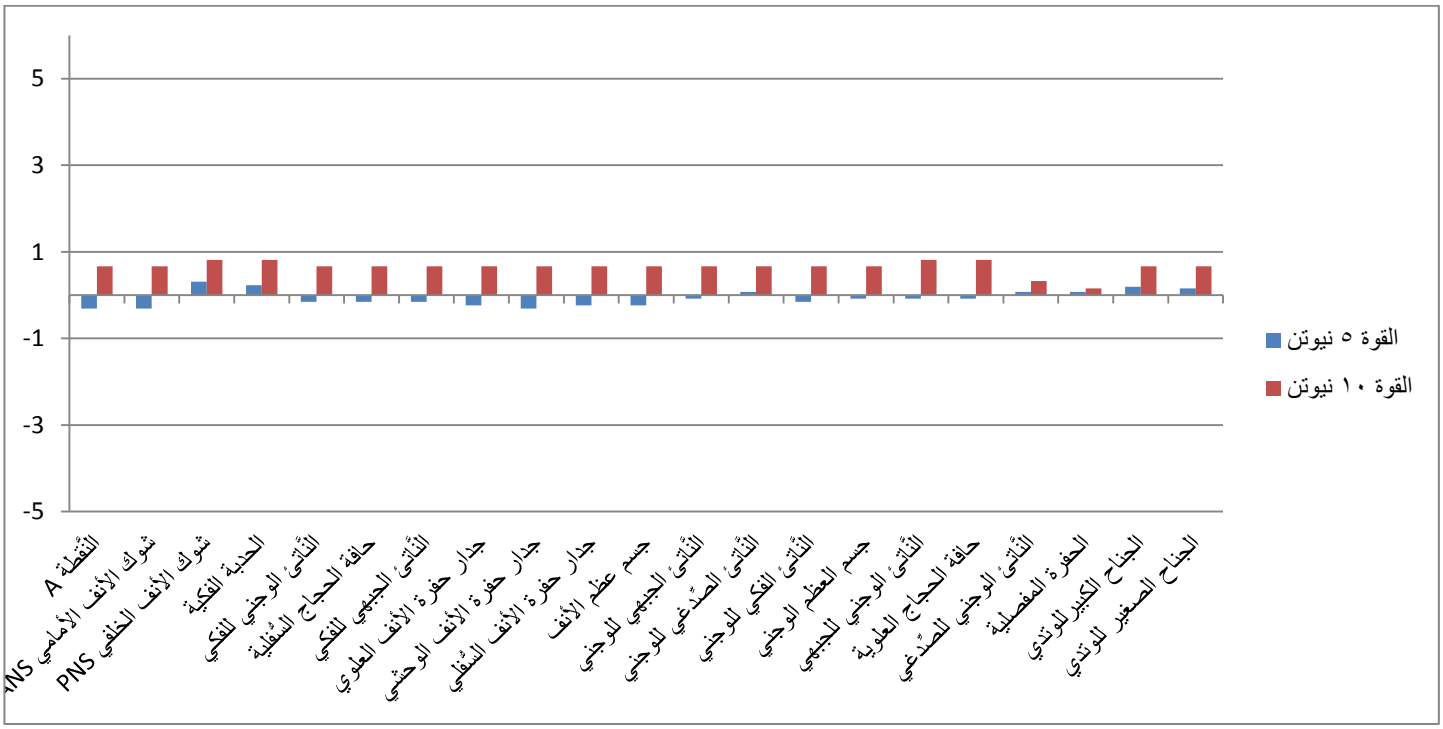
الشَّكل (3-16) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد العالي على المحور X

نلاحظ حدوث انتقالات صغيرة في البنى القحفية نحو الوحشي ،وكانت أعلى قيمة للانتقالات في منطقة الدَّرز الوجني الصَّدغي، وكانت الانتقالات أكبر مع القوة 10 نيوتن .



الشَّكل (3-17) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد العالي على المحور Y

يوضح المخطط حدوث انتقال لجميع البنى القحفية نحو الخلف في كلا القوتين ولكن كانت أعلى قيمة للانتقال نحو الخلف في العظم الجبهي و كانت الانتقالات مع قوة 10 نيوتن أكبر .



الشَّكل (3-18) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن قوة 5 -10 نيوتن الممثلة للشَّد العالي على المحور Z

يوضح المخطط حدوث انتقالات للبنى القحفية نحو الأسفل مع قوة 5 نيوتن عدا شوك الأنف الخلفي والحدبة الفكية انتقلا نحو الأعلى ، ومع قوة 10 نيوتن انتقلت جميع البنى القحفية نحو الأعلى .

3-7- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون :

تمَّ حساب الحد الأدنى والحد الأعلى لانتقالات البنى القحفية الوجهية على المحاور الثَّلاثة X,Y,Z مقدَّراً بالميكرون عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 نيوتن.

الجدول (3-7) مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 نيوتن مقدَّراً بالميكرون

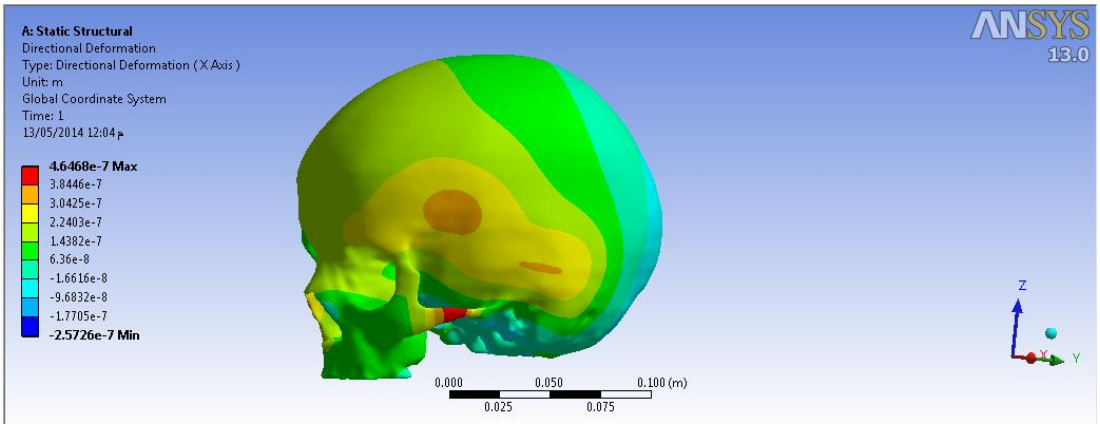
المتغيِّر المدروس		X		Y		Z	
		الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى
الفك العلوي	النُّقطة A	0.14382	0.0636	1.95	0.98404	-4.5801	-5.5961
	شوك الأنف الأمامي ANS	0.22403	0.14382	0.98404	0.01807	-4.5801	-5.5961
	شوك الأنف الخلفي PNS	0.14382	0.0636	1.95	0.98404	-1.5323	-2.5483
	الحدبة الفكيَّة	0.14382	0.0636	1.95	0.98404	-2.5483	-3.5642
	النَّاتئ الوجني	0.14382	0.0636	0.98404	0.01807	-3.5642	-4.5801
	حافة الحجاج السُّفلية	0.14382	0.0636	0.01807	-0.9479	-3.5642	-4.5801
	النَّاتئ الجبهي	0.22403	0.14382	-0.9479	-1.9139	-4.5801	-5.5961
جدار حفرة	العلوي	0.22403	0.14382	-0.9479	-1.9139	-4.5801	-5.5961
	الوحشي	0.0636	-0.016616	0.01807	-0.9479	-4.5801	-5.5961

الأنف	السُّفلي	0.14382	0.0636	0.98404	0.01807	-4.5801	-5.5961
عظم الأنف	الجسم	0.22403	0.14382	-0.9479	-1.9139	-4.5801	-5.5961
العظم الوجني	النَّاتئ الجبهي	0.22403	0.14382	-0.9479	-1.9139	-3.5642	-4.5801
	النَّاتئ الصِّدغي	0.46468	0.38446	0.01807	-0.9479	-2.5483	-3.5642
	النَّاتئ الفكي	0.14382	0.0636	0.98404	0.01807	-3.5642	-4.5801
	الجسم	0.14382	0.0636	0.98404	0.01807	-3.5642	-4.5801
العظم الجبهي	النَّاتئ الوجني	0.22403	0.14382	-0.9479	-1.9139	-3.5642	-4.5801
	حافة الحجاج العلوية	0.30425	0.22403	-1.9139	-2.8798	-3.5642	-4.5801
العظم الصِّدغي	النَّاتئ الوجني	0.46468	0.38446	0.01807	-0.9479	-1.5323	-2.5483
	الحفرة المفصلية	0.14382	0.0636	0.01807	-0.9479	-0.51638	-1.5323
العظم الوتدي	الجناح الكبير	0.14382	0.0636	-0.9479	-1.9139	-2.5483	-3.5642
	الجناح الصَّغير	0.22403	0.14382	-0.9479	-1.9139	-2.5483	-3.5642

على المحور X(المعترض) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأنسي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الوحشي .

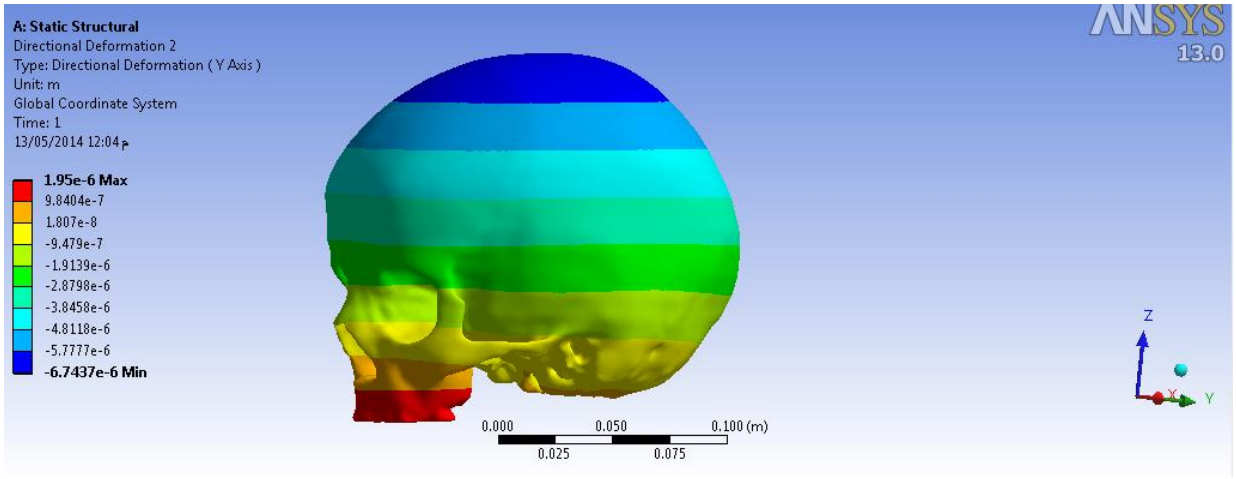
على المحور Y(الأمامي الخلفي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأمامي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الخلفي .

على المحور Z (العمودي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال السُّفلي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال العلوي .



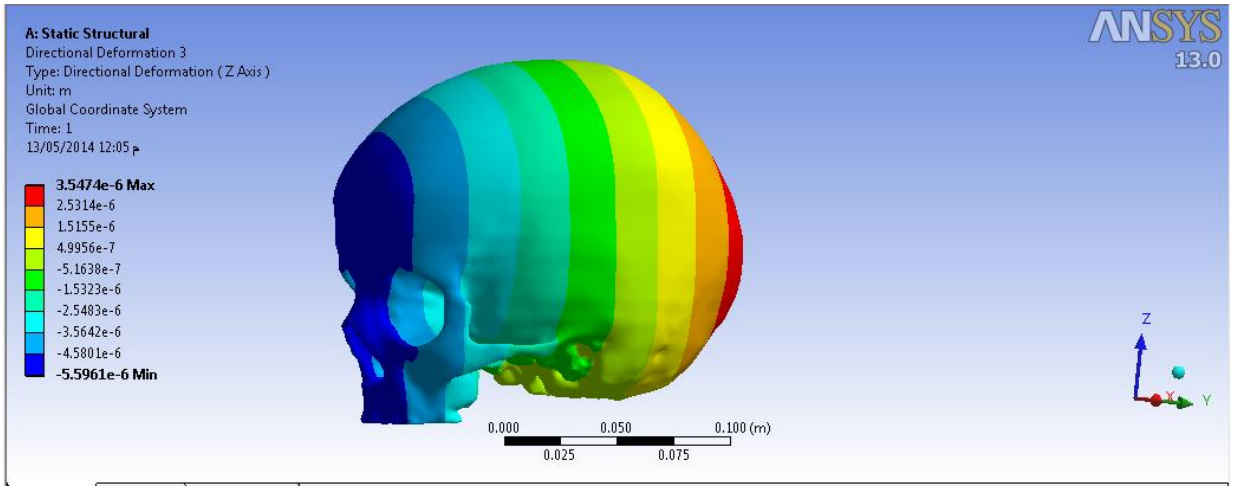
الشَّكل (3-19)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 نيوتن.

نلاحظ أن أكبر انتقال نحو الوحشي حصل في مكان الدَّرز الوجني الصِّدغي وحصل انتقال نحو الوحشي أقل في باقي البنى القحفية .



الشَّكل (3-20)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 نيوتن.

حدث أكبر انتقال نحو الخلف في النُّقطة A والحدبة الفكية وشوك الأنف الخلفي يليها شوك الأنف الأمامي و انتقلت باقي البنى القحفية للخلف بنسبة أقل.



الشَّكل (3-21)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 نيوتن .

حدث أكبر انتقال نحو الأسفل في شوك الأنف الأمامي و النُّقطة A و كان أقل في شوك الأنف الخلفي والحدبة الفكية والعظم الوجني و الصِّدغي .

3-8- مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون :

تمَّ حساب الحد الأدنى والحد الأعلى لانتقالات البنى القحفية الوجهية على المحاور الثَّلاثة X,Y,Z مقدَّراً بالميكرون عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 10 نيوتن.

الجدول (3-8) مقدار الانتقال لبنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون.

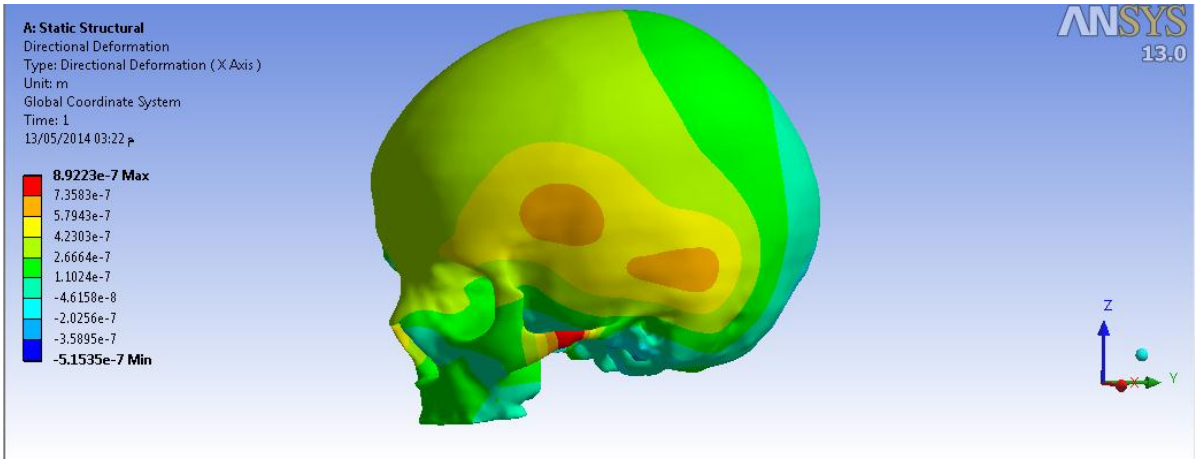
المتغيِّر المدروس		X		Y		Z	
		الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى	الحد الأعلى	الحد الأدنى
الفك العلوي	النُّقطة A	0.26664	0.11024	3.9534	1.9222	-9.6671	-11.822
	شوك الأنف الأمامي ANS	0.26664	0.11024	1.9222	-0.10906	-9.6671	-11.822
	شوك الأنف الخلفي PNS	0.11024	-0.046158	3.9534	1.9222	-3.2037	-5.3581
	الحدبة الفكيَّة	0.11024	-0.046158	3.9534	1.9222	-5.3581	-7.5126
	النَّاتئ الوجني	0.11024	-0.046158	1.9222	-0.10906	-7.5126	-9.6671
	حافة الحجاج السُّفلية	0.26664	0.11024	-0.10906	-2.1403	-7.5126	-11.822
	النَّاتئ الجبهي	0.42303	0.26664	-2.1403	-4.1715	-9.6671	-11.822
جدار حفرة الأنف	العلوي	0.42303	0.26664	-2.1403	-4.1715	-9.6671	-11.822
	الوحشي	0.11024	-0.046158	-0.10906	-2.1403	-9.6671	-11.822
	السُّفلي	0.26664	0.11024	1.9222	-0.10906	-9.6671	-11.822
عظم الأنف	الجسم	0.42303	0.26664	-2.1403	-4.1715	-9.6671	-11.822
العظم الوجني	النَّاتئ الجبهي	0.42303	0.26664	-2.1403	-4.1715	-7.5126	-9.6671
	النَّاتئ الصِّدغي	0.89223	0.73583	-0.10906	-2.1403	-5.3581	-7.5126
	النَّاتئ الفكي	0.11024	-0.046158	1.9222	-0.10906	-7.5126	-9.6671
	الجسم	0.26664	0.11024	1.9222	-0.10906	-7.5126	-9.6671
العظم الجبهي	النَّاتئ الوجني	0.42303	0.26664	-4.1715	-6.2028	-7.5126	-9.6671
	حافة الحجاج العلوية	0.57943	0.42303	-4.1715	-6.2028	-7.5126	-11.822

العظم الصِّدغي	النَّاتئ الوجني	0.89223	0.73583	-0.10906	-2.1403	-3.2037	-5.3581
	الحفرة المفصلية	0.26664	0.11024	-0.10906	-2.1403	-1.0492	-3.2037
العظم الوتدي	الجناح الكبير	0.42303	0.11024	-2.1403	-4.1715	-5.3581	-7.5126
	الجناح الصَّغير	0.42303	0.11024	-2.1403	-4.1715	-5.3581	-7.5126

على المحور X(المعترض) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأنسي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الوحشي .

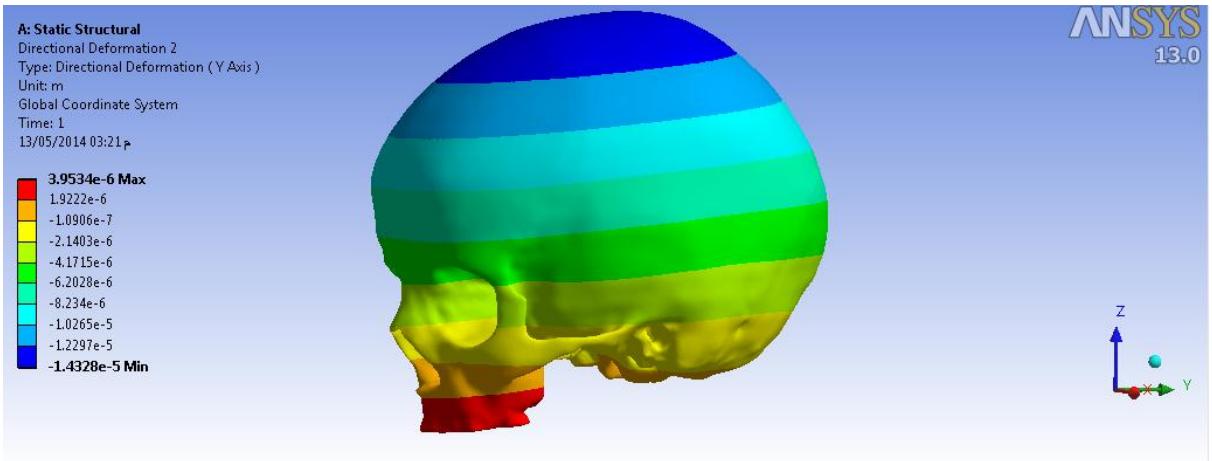
على المحور Y(الأمامي الخلفي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأمامي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الخلفي .

على المحور Z (العمودي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال السُّفلي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال العلوي .



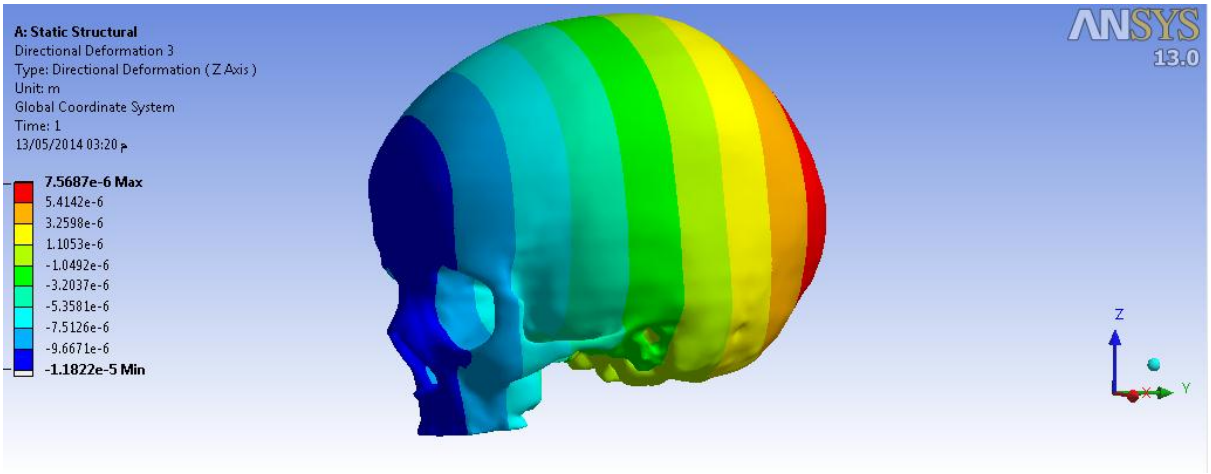
الشَّكل (3-22)الانتقالات على المحور X عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 10 نيوتن .

نلاحظ أن أكبر انتقال نحو الوحشي حصل في مكان الدَّرز الوجني الصِّدغي وحصل انتقال نحو الوحشي أقل في باقي البنى القحفية .



الشَّكل (3-23)الانتقالات على المحور Y عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 10 نيوتن .

حدث أكبر انتقال نحو الخلف في النُّقطة A والحدبة الفكية وشوك الأنف الخلفي يليها شوك الأنف الأمامي وانتقلت باقي البنى القحفية للخلف بنسبة أقل.



الشَّكل (3-24)الانتقالات على المحور Z عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 10 نيوتن.

حدث أكبر انتقال نحو الأسفل في شوك الأنف الأمامي و النُّقطة A و كان أقل في شوك الأنف الخلفي والحدبة الفكية والعظم الوجني و الصِّدغي .

3-9- مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون :

تمَّ حساب ومقارنة الوسط الحسابي لانتقالات البنى القحفية الوجهية على المحاور الثَّلاثة X,Y,Z مقدَّراً بالميكرون عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5 -10 نيوتن.

الجدول (3-9)مقارنة الوسط الحسابي لمقدار انتقال بنى المركب القحفي الوجهي عند تطبيق القوة المماثلة للشَّد المنخفض بمقدار 5-10 نيوتن مقدَّراً بالميكرون

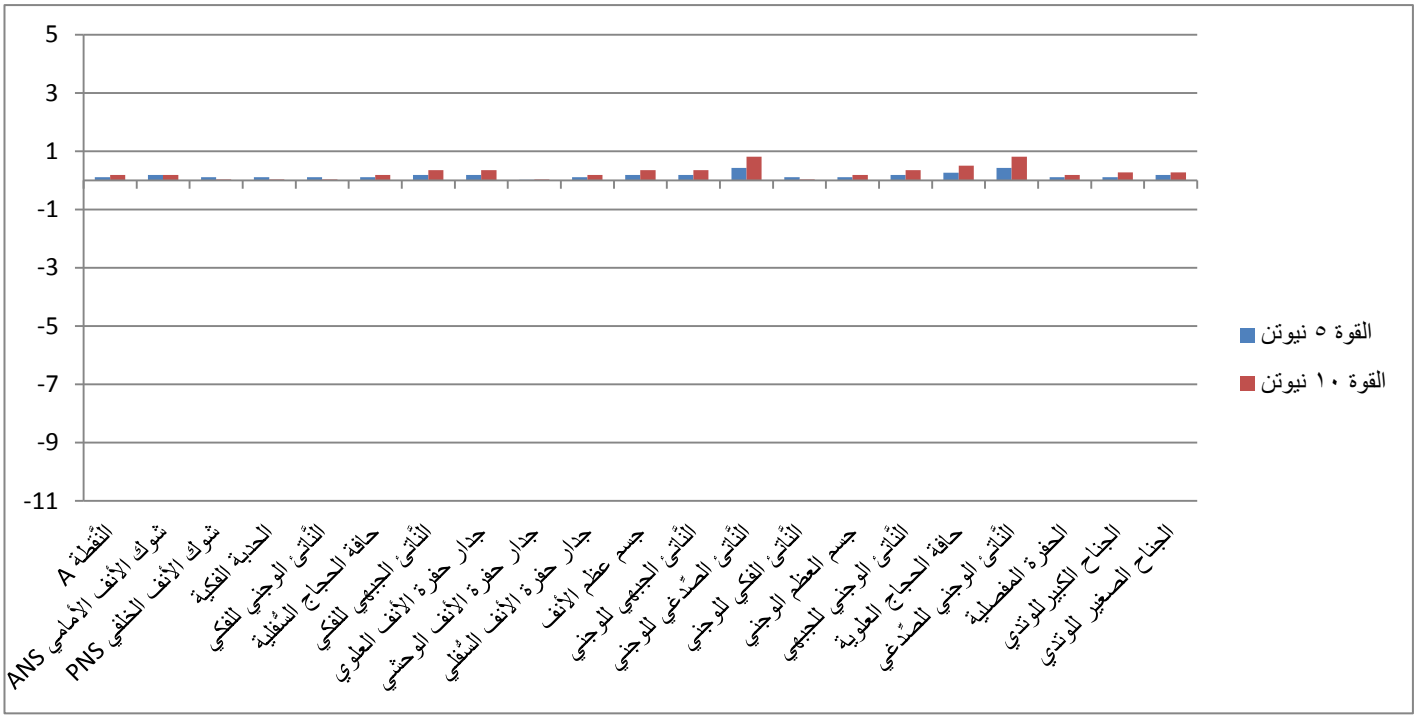
المتغيِّر المدروس		X		Y		Z	
		5 نيوتن	10نيوتن	5 نيوتن	10 نيوتن	5 نيوتن	10 نيوتن
الفك العلوي	النُّقطة A	0.10371	0.18844	1.46702	2.9378	-5.0881	-10.7446
	شوك الأنف الأمامي ANS	0.183925	0.18844	0.501055	0.90657	-5.0881	-10.7446
	شوك الأنف الخلفي PNS	0.10371	0.032041	1.46702	2.9378	-2.0403	-4.2809

	الحدبة الفكيَّة	0.10371	0.032041	1.46702	2.9378	-3.05625	-6.43535
	النَّاتئ الوجني	0.10371	0.032041	0.501055	0.90657	-4.07215	-8.58985
	حافة الحجاج السُّفلية	0.10371	0.18844	-0.46492	-1.12468	-4.07215	-9.6673
	النَّاتئ الجبهي	0.183925	0.344835	-1.4309	-3.1559	-5.0881	-10.7446
جدار حفرة الأنف	العلوي	0.183925	0.344835	-1.4309	-3.1559	-5.0881	-10.7446
	الوحشي	0.023492	0.032041	-0.46492	-1.12468	-5.0881	-10.7446
	السُّفلي	0.10371	0.18844	0.501055	0.90657	-5.0881	-10.7446
عظم الأنف	الجسم	0.183925	0.344835	-1.4309	-3.1559	-5.0881	-10.7446
العظم الوجني	النَّاتئ الجبهي	0.183925	0.344835	-1.4309	-3.1559	-4.07215	-8.58985
	النَّاتئ الصِّدغي	0.42457	0.81403	-0.46492	-1.12468	-3.05625	-6.43535
	النَّاتئ الفكي	0.10371	0.032041	0.501055	0.90657	-4.07215	-8.58985
	الجسم	0.10371	0.18844	0.501055	0.90657	-4.07215	-8.58985
العظم الجبهي	النَّاتئ الوجني	0.183925	0.344835	-1.4309	-5.18715	-4.07215	-8.58985
	حافة الحجاج العلوية	0.26414	0.50123	-1.9193	-5.18715	-4.07215	-9.6673
العظم الصِّدغي	النَّاتئ الوجني	0.42457	0.81403	-0.46492	-1.12468	-2.0403	-4.2809
	الحفرة المفصلية	0.10371	0.18844	-0.46492	-1.12468	-1.02434	-2.12645
العظم الوتدي	الجناح الكبير	0.10371	0.266635	-1.4309	-3.1559	-3.05625	-6.43535
	الجناح الصَّغير	0.183925	0.266635	-1.4309	-3.1559	-3.05625	-6.43535

على المحور X(المعترض) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأنسي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الوحشي .

على المحور Y(الأمامي الخلفي) تشير الإشارة السَّالبة إلى الانتقال الأمامي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال الخلفي .

على المحور Z (العمودي) تشير الإشارة السّالبة إلى الانتقال السُفلي ، والإشارة الموجبة إلى الانتقال العلوي .



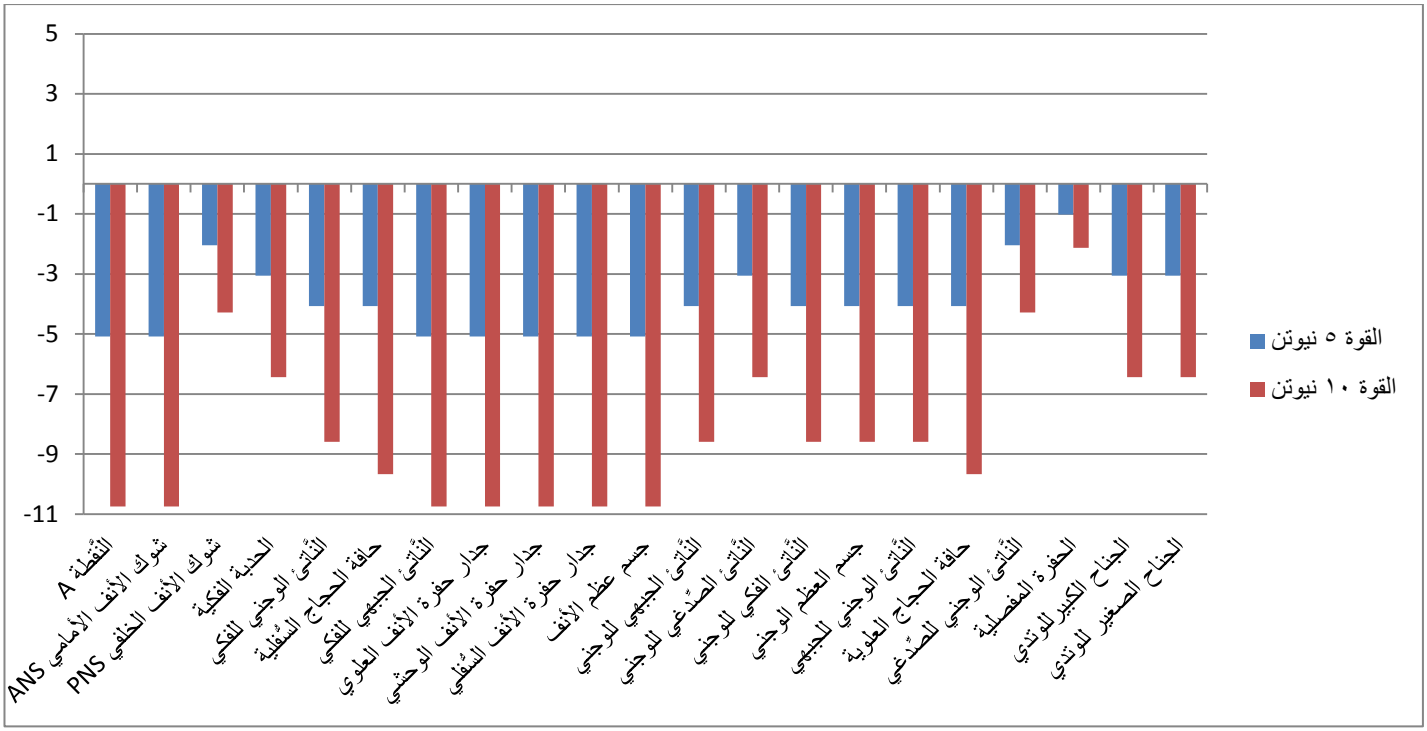
الشّكل (3-25) مخطّط يوضّح الفرق بين الانتقالات النّاتجة عن القوة 5-10 نيوتن الممثلة للشّد المنخفض على المحور X

انتقلت جميع البنى القحفية نحو الوحشي و كانت الانتقالات أكبر مع قوة 10 نيوتن .



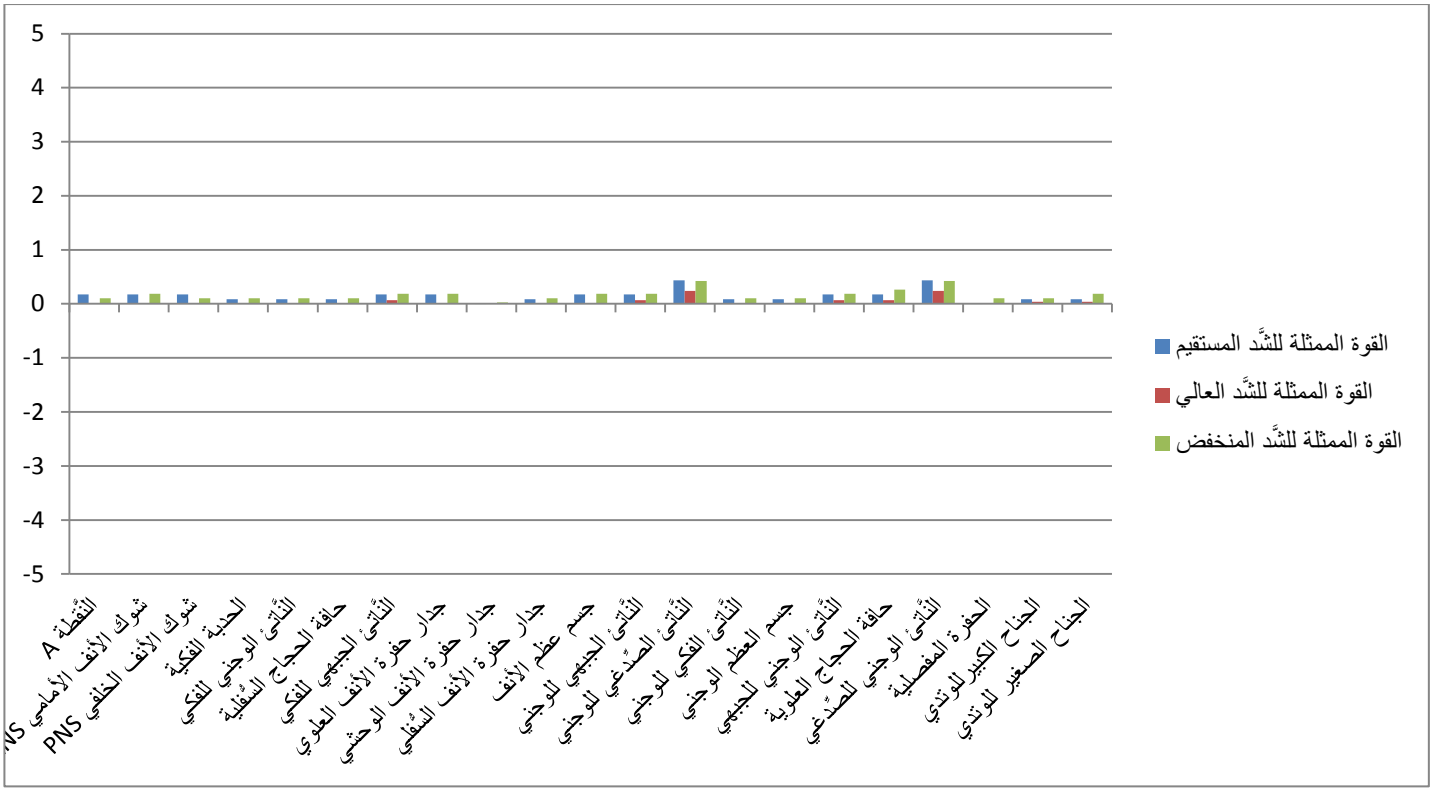
الشّكل (3-26) مخطّط يوضّح الفرق بين الانتقالات النّاتجة عن القوة 5-10 نيوتن الممثلة للشّد المنخفض على المحور Y

انتقلت بنى الفك العلوي والعظم الوجني نحو الخلف وباقي البنى القحفية انتقلت نحو الأمام وكانت الانتقالات أكبر مع قوة 10 نيوتن .



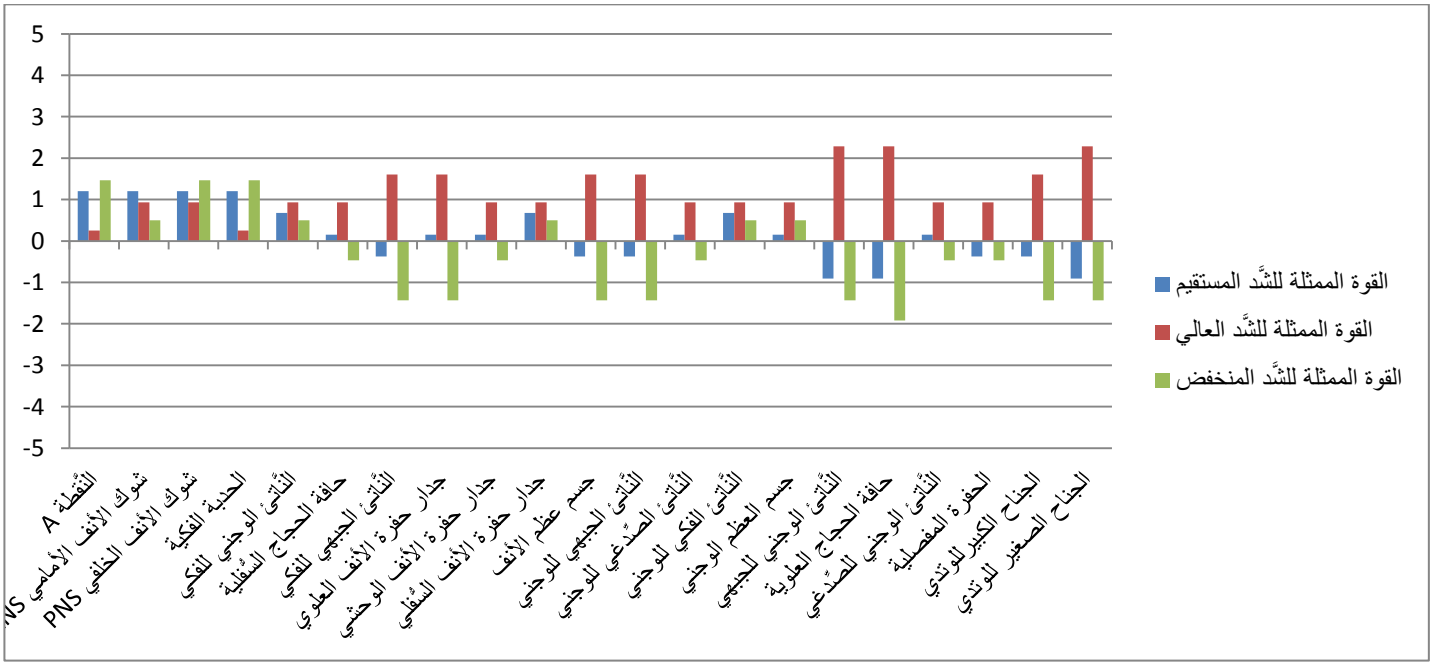
الشَّكل (3-27) مخطَّط يوضِّح الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن القوة 5-10 نيوتن الممثلة للشَّد المنخفض على المحور Z

انتقلت جميع البنى القحفية نحو الأسفل وكانت هذه الانتقالات أكبر في شوك الأنف الأمامي و النُّقطة A و عظم الأنف والعظم الجبهي، وكانت الانتقالات أكبر مع قوة 10 نيوتن .



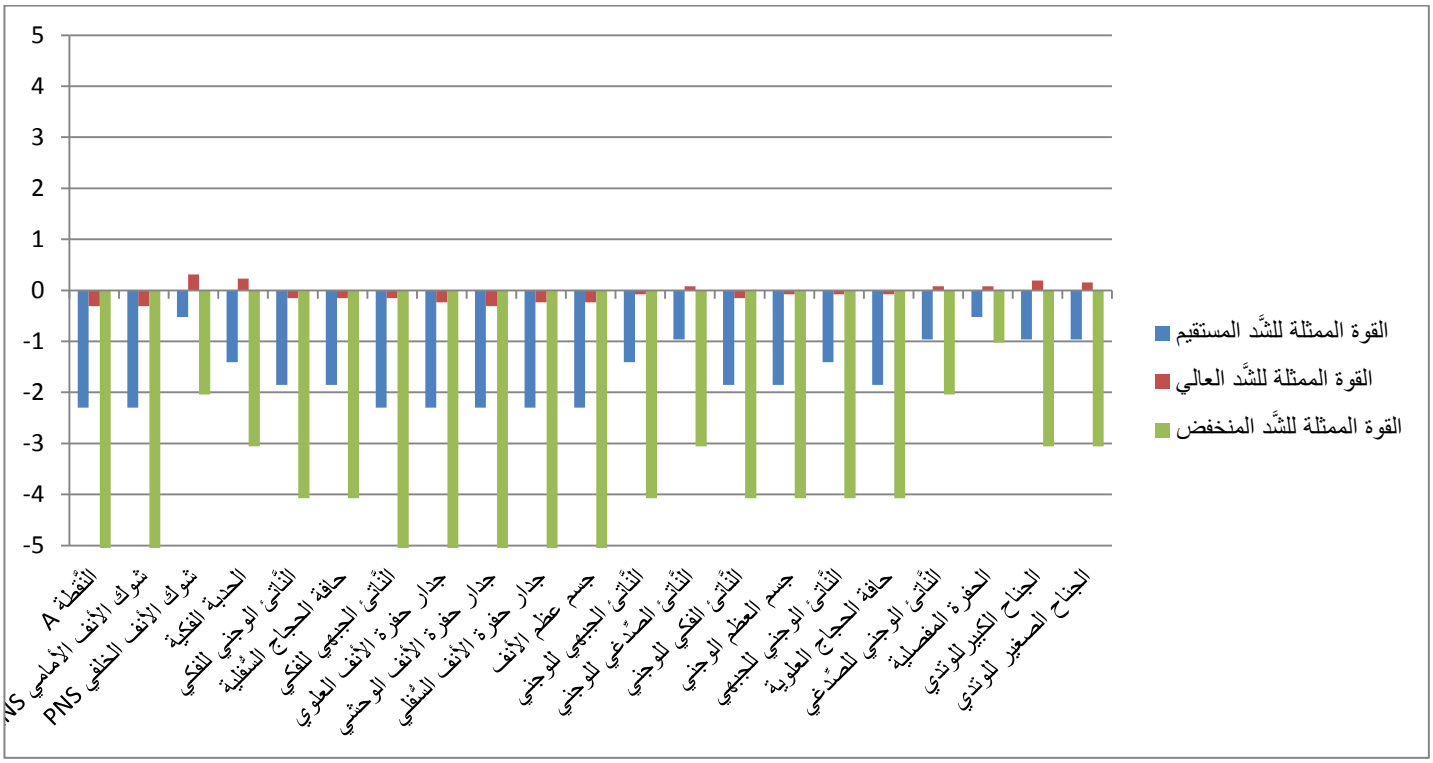
الشَّكل (3-28) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 5 نيوتن على المحور X

حدث انتقال نحو الوحشي لكل البنى القحفية مع أنماط الشَّد الثلاثة وكانت أعلى قيمة في منطقة الدَّرز الوجني الصِّدغي .



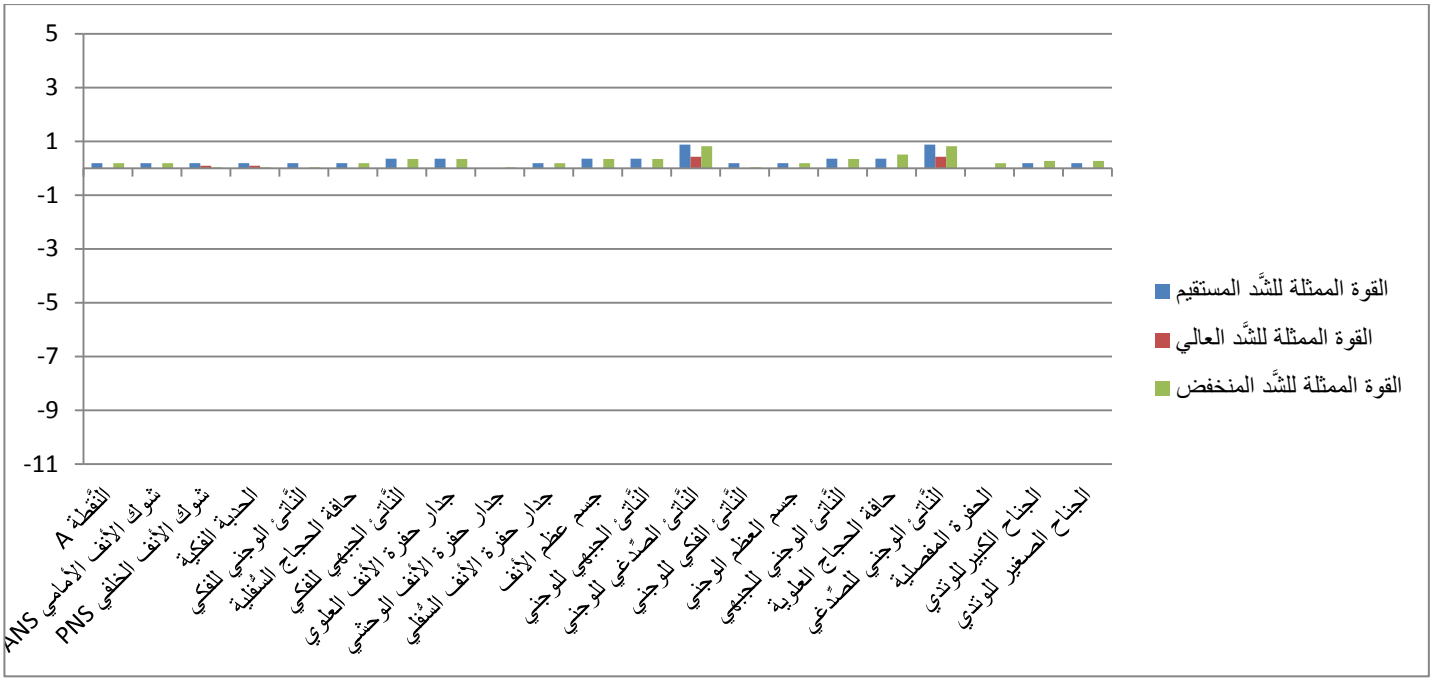
الشَّكل (3-29) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 5 نيوتن على المحور Y

جميع بنى الفك العلوي انتقلت نحو الخلف مع أنماط الشِّد الثلاثة ولكن كانت أعلى قيمة للقوة الممثلة للشِّد المنخفض يليه المستقيم ، وباقي البنى القحفية انتقلت نحو الخلف مع نمطي القوة الممثلة للشد المنخفض و المستقيم عدا بنى العظم الوجني انتقلت للأمام ، و مع الشد العالي انتقلت باقي البنى للأمام.



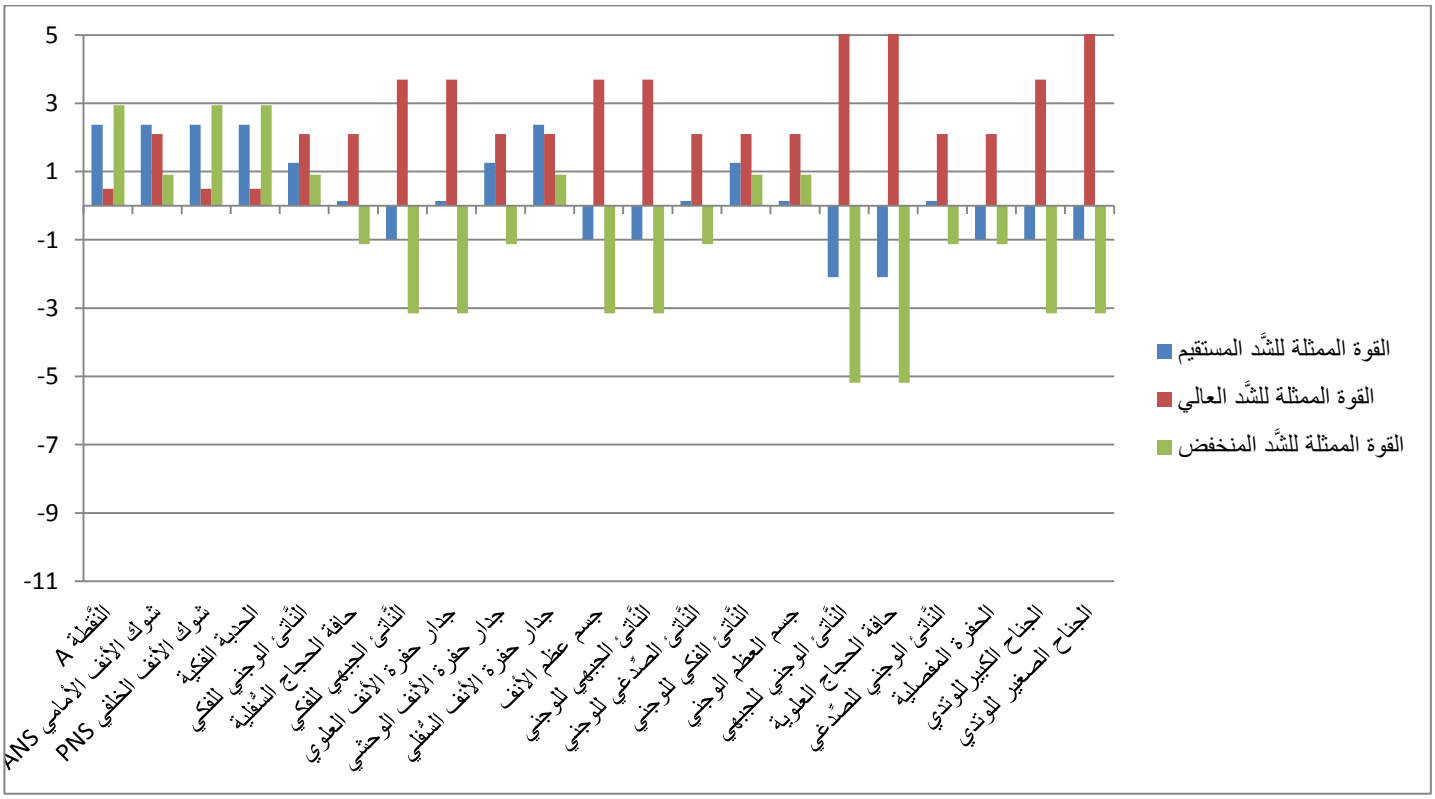
الشَّكل (3-30) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 5 نيوتن على المحور Z

جميع البنى القحفية تقريباً انتقلت نحو الأسفل مع جميع أنماط الشد ولكن كانت القيمة الأعلى للشد المنخفض يليه المستقيم .



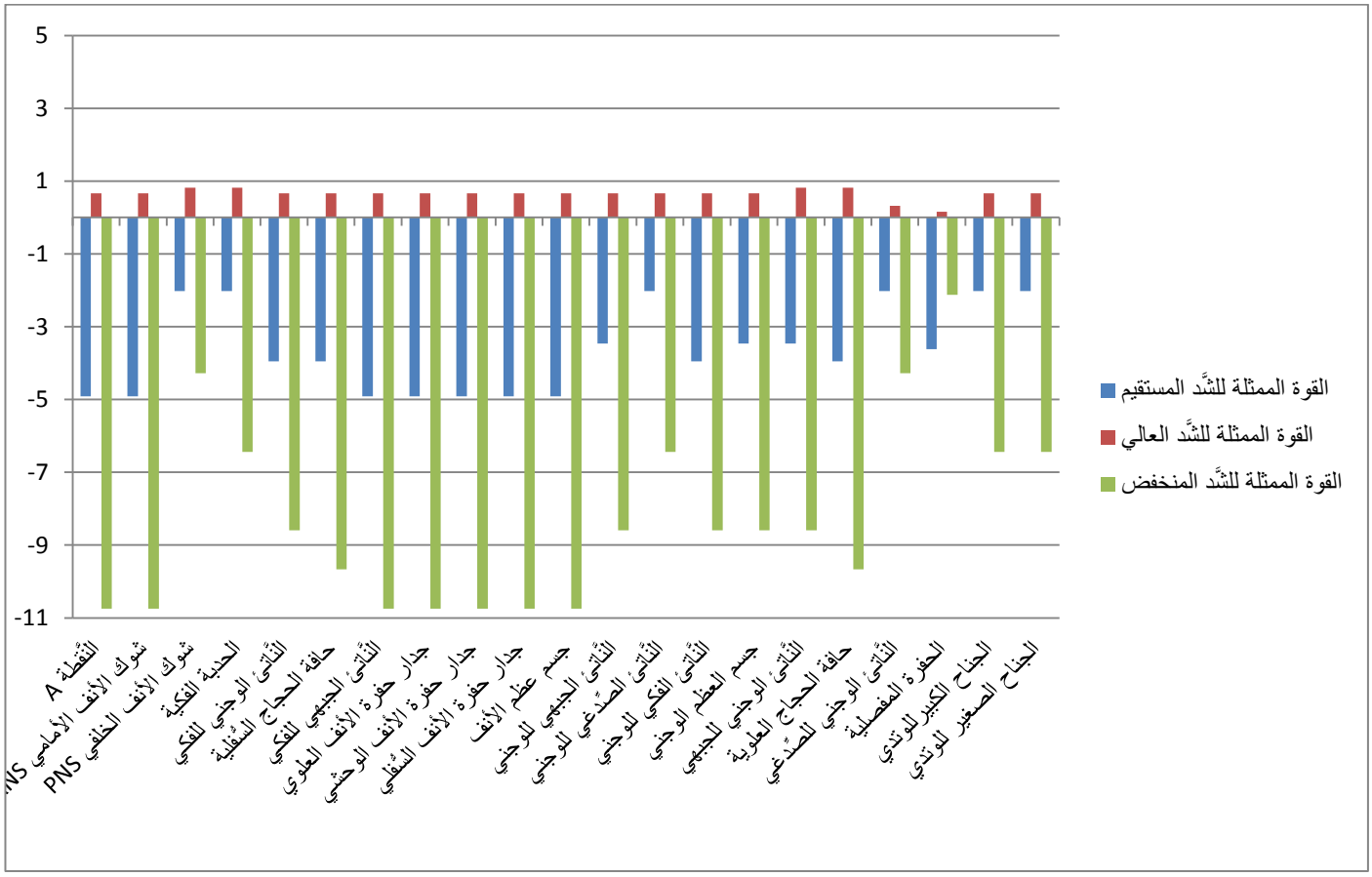
الشَّكل (3-31) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 10 نيوتن على المحور X

حدث انتقال نحو الوحشي لكل البنى القحفية مع أنماط الشَّد الثلاثة وكانت أعلى قيمة في منطقة الدَّرز الوجني الصِّدغي .



الشَّكل (3-32) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 10 نيوتن على المحور Y

جميع البنى القحفية للفك العلوي انتقلت للخلف مع أنماط الشد الثلاثة .



الشَّكل (3-33) مخطَّط يبيِّن الفرق بين الانتقالات النَّاتجة عن الأنماط الثَّلاثة للشَّد مع قوة 10 نيوتن على المحور Z

جميع البنى القحفية انتقلت للأسفل مع نمطي الشد المستقيم والمنخفض و كان الانتقال أكبر مع الشد المنخفض، وانتقلت للأعلى مع الشد العالي.

البَابُ الرَّابع :
المناقشة
Discussion

في أواخر القرن العشرين أحدثت تقنية العناصر المنتهية Finite element method (FEM) ثورة في علم الهندسة والميكانيك، حيث ساعدت هذه التِّقنية على دراسة وفهم آلية انتشار الإجهادات والانفعالات داخل الأجسام بنجاح، وأصبحت تستخدم في المجالات الطِّبيَّة والسِّنيَّة من أجل تقييم التَّأثيرات الميكانيكية الحيويَّة كالانتقالات والإجهادات والانفعالات في البنى الحيوية عند تطبيق قوى خارجية متنوعة، ولكن تعتمد نتائج طريقة العناصر المنتهية في دقتها على دقة عملية النَّمذجة حيث كان نموذج العناصر المنتهية ذو الدِّقة المنخفضة يشكل عائقاً رئيسياً في الدِّراسات السَّابقة (Tanne and Sakuda 1991) (Tanne, Hiraga et al. 1989)

في هذه الدِّارسة حاولنا تقديم نموذج من العناصر المنتهية ذي دقة عالية و أكثر قرباً من الجمجمة البشرية وبالتَّالي حصلنا على تمثيل أفضل لنمط الانتقال في المركب القحفي الوجهي مع القوى التَّقويمية المتولدة عنها في بنى المركب القحفي الوجهي.

4-1- مناقشة طريقة العمل :

تمَّ الحصول على نموذج تحليلي لجمجمة طفل بعمر 10 سنوات بالاعتماد على صورة طبقي محوري محوسب له، كانت صور CT متعاقبة بفاصل 0.62 ملم وذلك من أجل الحصول على سطوح دقيقة وناعمة للنَّموذج و أقرب للواقع من أجل تحسين النَّتائج مقارنةً بالدِّراسات السَّابقة والتي كانت بفاصل 10ملم (Tanne and Tanne, Hiraga et al. 1989 Sakuda 1991,) أو بفاصل 5 ملم(Işeri, Tekkaya et al. , Jafari, Shetty et al. 2003 1998) أو بفاصل 2.5ملم (Gautam, Valiathan et al. 2009) أو بفاصل 2 ملم (Panigrahi and Vineeth 2009)

مرَّت عملية تصميم نموذج العناصر المنتهية بعدِّة مراحل تمَّ خلالها استخدام برنامج هندسي خاص في كلِّ مرحلة لإنجازها بنجاح .

في برنامج العناصر المنتهية تمَّ اختيار شكل العنصر مجسم Solid وبالتَّالي فهذه الدِّراسة تختلف عن الدِّراسات السَّابقة (Işeri, Tekkaya, et al. 1998Jafari, Shetty et al. 2003) التي استخدمت عنصر Shell من أجل التَّقطيع حيث يؤدي إلى تمثيل غير دقيق للثَّخانات المختلفة لعظام الجمجمة ،كان شكل العنصر هرم tetrahydron وتمَّ اختيار قياس ضلع الهرم ب 3ملم، بعد التَّقطيع كان عدد العناصر التي تؤلِّف النَّموذج 181956عنصر ، وكان عدد العقد 302057عقدة وعند مقارنتها مع الدِّراسات السَّابقة نلاحظ أنَّها أدَّق من الدِّراسات السَّابقة، حيث قدَّم (Miyasaka-Hiraga et al 1994) نموذج لجمجمة كاملة مؤلَّفة من 1776 عنصر، و(Işeri, Tekkaya et al. 1998) قدَّم نموذج للجمجمة مؤلَّف من 2349عنصر، ثمَّ ازدادت الدِّقة في دراسة (Jafari, Shetty et al. 2003) بنموذج مؤلَّف من 6951عنصر ، وفي دراسة (Holberg, Mahaini et al. 2007) كان نموذج الجمجمة البشرية مؤلَّف من 53555عنصر ، وفي دراسة (Gautam, Valiathan et al. 2009) 108799عنصر .

تمَّ تثبيت نموذج العناصر المنتهية بجعل الانتقالات والدورانات تساوي الصِّفر في العقد الموجودة في منطقة التُّقبة الكبرى، وبالنِّسبة للقوة تمَّ تحديد مكان تطبيق القوة في منطقة الرَّحى الأولى الدَّائمة بالطَّرفين، وتمَّ تطبيق حالتين 5 و10نيوتن بالطَّرفين مع كلَّ نمط شد، وتمَّ تطبيق ثلاث حالات مختلفة لاتجاه القوة المحاكاة أنماط الشَّد الثَّلاثة المختلفة لحزام الرَّأس، ومن ثمَّ تمَّ قياس الانتقالات في بنى المركب القحفي الوجهي مع كلِّ نمط على حدى.

4-2-مناقشة النَّتائج :

تبيَّن من خلال النَّتائج حدوث ردود فعل تختلف بحسب نمط الشَّد ومقدار القوة المطبقة، وبالتَّالي فإنَّ نمط الشَّد و مقدار القوة عاملان أساسيان في تقدير نمط النُّمو الوجهي المعدَّل بفعل المعالجة بالقوى النَّاتجة عن حزام الرَّأس .

4-2-1-مناقشة التَّغيرات على بنى الفك العلوي:

إنَّ تَّوضع خط فعل القوة المستخدمة في المعالجة باستخدام حزام الرَّأس بالنِّسبة لمركز المقاومة هو أمر ضروري من وجهة نظر الميكانيك الحيوي.

القوة التي استخدمناها في التَّجربة كانت دوماً إلى الأسفل من مركز مقاومة الفك العلوي حتَّى مع حزام الرَّأس عالي الشَّد وهذا ما أدى إلى دوران الفك العلوي مع عقارب السَّاعة في المستوى العمودي .

نمط انتقال الفك العلوي الذي حصلنا عليه مع القوى التَّقويمية المختلفة يدل على اختلاف مركز دوران الفك العلوي في المستوى السَّهمي تبعاً لاختلاف نمط الشَّد. فمركز دوران الفك العلوي عند استخدام حزام الرَّأس ذو الشَّد المنخفض يتوَّضع تقريباً في الشَّق الجناحي الفكي وينتقل إلى الأمام إلى منطقة الحدبة الفكيَّة عند استخدام حزام الرَّأس المستقيم، ويصبح إلى الأمام أكثر عند استخدام حزام الرَّأس عالي الشَّد (Gautam, Valiathan et al. 2009).

أظهر (Droschl 1973) في دراسته لحزام الرأس المنخفض عند القرود أن الفك العلوي يدور حول محور يقع بالقرب من الحافة العلوية للنَّاتئ الوجني ويمتد إلى الحدبة الفكيَّة مقابل الجدار السُّفلي للحجاج في الشَّق الجناحي الفكي.

- في المستوى السَّهمي أظهرت النَّتائج حدوث توضع خلفي للفك العلوي مع كلِّ أنماط الشَّد ومع كلا القوتين5 و10 نيوتن، ولكنَّه كان أكثر مع الشَّد المنخفض يليه الشَّد المستقيم وذلك لكون الدَّوران الذي حصل في الفك العلوي أكبر وبالتَّالي أدى إلى توضع خلفي أكثر للفك العلوي في الشَّد المنخفض منه في المستقيم، وهذا يدعم فكرة استخدام حزام الرَّأسKloehn العنقي عند المرضى الذين يعانون من بروز الفك العلوي مع نقص البعد العمودي من أجل تحريك الفك العلوي للخلف وزيادة البعد العمودي . اتفقنا مع دراسات (Baumrind , Molthen et al.1978 , Poulton 1967) التي أظهرت أنَّ حزام الرَّأس العنقي المستخدم من أجل تصحيح سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني يعتبر فعَّالاً في إعادة توجيه نمو الفك العلوي للخلف والأسفل . واتفقنا مع (Brown 1978) الذي أكدَّ على فعالية حزام الرَّأس العنقي في إنقاص زاوية ANB أكثر من حزام الرَّأس عالي الشَّد، واتفقنا مع دراسة (Ucem and Yuksel 1998) والتي أكدَّت على انتقال الفك العلوي نحو الخلف بشكل واضح مع قوى الشَّد العنقي فقط. واتفقنا مع دراسة (Lima Filho, Lima et al. 2003) التي أكدَّت على قدرة حزام الرَّأس العنقي في إرجاع الفك العلوي بالنِّسبة إلى قاعدة القحف، وبالمقابل اختلفنا مع (O'Reilly et al 1993, Boecler et al 1989) التي أظهرت حدوث تحسُّن في العلاقة بين الفكين ولكن لم يكن هناك فروق هامَّة بين أنماط حزام الرَّأس المختلفة، واختلفنا مع (Gautam, Valiathan et al. 2009) الذي أكدَّ على حدوث انتقال للفك العلوي مع جميع أنماط شد حزام الرَّأس ولكنَّه كان أكبر مع المستقيم يليه العنقي وهذا قد يعود إلى اختلاف الطَّريقة التي تمَّت فيها النَّمذجة حيث اعتمد على

طريقة التَّرسيم فرسم النَّموذج طبقة طبقة وهذا قد يؤدي إلى ابتعاد النَّموذج قليلاً عن الواقع .

- في المستوى العمودي لوحظ حدوث دوران للمستوى الحنكي مع عقارب السَّاعة مع أنماط حزام الرَّأس المختلفة حيث كانت نقطة شوك الأنف الأمامي ANS إلى الأسفل من نقطة شوك الأنف الخلفي PNS وهذا بسبب كون خط فعل القوة إلى الأسفل من مركز مقاومة الفك العلوي، وكان هذا الدَّوران أكبر مع حزام الرَّأس المنخفض وأقل مع حزام الرَّأس عالي الشَّد وبذلك اتفقنا مع (Ricketts 1960,Poulton 1964 ,Jakobsson 1967, O'Reilly et al 1993, Tanne, Matsubara et al. 1993, Gautam, Valiathan et al. 2009) واختلفنا مع دراسة (Meldrum 1975) التي أظهرت حدوث دوران للمستوى الحنكي عكس عقارب السَّاعة عند القرود التي عولجت بحزام الرَّأس عالي الشَّد وذلك لاستخدامه اتجاه مختلف لخط فعل القوة .

كان التَّوضع الخلفي العلوي للفك العلوي أكبر مع حزام الرَّأس عالي الشَّد وهذا يؤكِّد قدرة القوى الخارج فموية لحزام الرَّأس عالي الشَّد على إبطاء أو إيقاف أو حتَّى كبح النُّمو الأمامي السُّفلي الطَّبيعي للفك العلوي وهذا يدعم استخدام حزام الرَّأس عالي الشَّد في السَّيطرة على البعد العمودي .اتفقنا بذلك مع (Meldrum 1975, Gautam, Valiathan et al. 2009)

- في المستوى المعترض لوحظ حدوث توَّسع خفيف في بنى الفك العلوي مع أنماط الشَّد المختلفة ومع كلا القوتين عدا حزام الرَّأس عالي الشَّد مع قوة 10 نيوتن حدث فيها

انتقال خفيف لبنى الفك العلوي نحو الأنسي ، قد يفسَّر ذلك بكون مكان تطبيق القوة يقع إلى الخارج من مركز المقاومة وبالتَّالي يؤدي إلى حركة باتجاه الخارج أي توَّسع .

اتفقنا بذلك مع (Gautam, Valiathan et al. 2009) وهذا التَّوَّسع عادةً ما يكون مرغوب عند مرضى سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني المترافق بتضيُّق في الفك العلوي .

4-2-2-مناقشة التَّغيرات على جدران حفرة الأنف وعظم الأنف :

تحرَّك عظم الأنف نحو الوحشي والأمام والأسفل عند استخدام القوى المماثلة للشَّد المستقيم والمنخفض وتحرَّك نحو الوحشي والخلف مع كلا القوتين (5-10 نيوتن) والأسفل مع قوة 5 نيوتن والأعلى مع قوة10 نيوتن عند تطبيق القوى المماثلة للشَّد العالي، هذا يدُّل على حدوث توسيع على مستوى عظم الأنف ترافق مع توسُّع الفك العلوي وجدران حفرة الأنف وهذا قد يخفِّف من التَّنفس الفموي عند بعض المرضى، تفسَّر الحركة نحو الوحشي مع أنماط الشَّد الثَّلاثة بكون مكان تطبيق القوة إلى الخارج من مركز المقاومة وبالتَّالي أدَّت إلى التوَّسع ، أمَّا الحركة نحو الأمام مع الشَّد المستقيم والمنخفض ونحو الخلف مع الشّد العالي بكون مكان تطبيق القوة يقع إلى الخلف من مركز المقاومة واختلف رد الفعل حسب اتجاه القوة .اتفقنا مع (Droschl 1973 , Gautam, Valiathan et al. 2009)

أمَّا بالنِّسبة لجدران حفرة الأنف فقد تحرَّكت كالتَّالي مع القوى المماثلة للشَّد المنخفض والمستقيم تحرَّكت نحو الوحشي والخلف والأسفل، وعند تطبيق القوى المماثلة للشَّد العالي تحرَّكت نحو الوحشي والخلف مع كلا القوتين والأسفل مع قوة 5 نيوتن والأعلى

مع قوة10 نيوتن واتفقنا بذلك مع (Gautam, Valiathan et al. 2009)، هذا التَّوسُّع في حفرة الأنف تمَّ توثيقه أيضاً من قبل (Kirjavainen and Kirjavainen 2003) ولكنَّه استخدم قوس داخلي موَّسع مع شد عنقي أمَّا في دراستنا فالتَّوسيع الذي حصلنا عليه هو رد فعل على قوى حزام الرَّأس من دون إضافة توسيع.

4-2-3-مناقشة التَّغيرات على العظم الوجني :

عند استخدام القوى المماثلة لحزام الرَّأس المستقيم والمنخفض تحرَّك العظم الوجني نحو الوحشي والخلف والأسفل، ومع القوى المماثلة لحزام الرَّأس عالي الشَّد تحرَّك العظم الوجني نحو الوحشي والخلف والأسفل مع قوة 5 نيوتن و للأعلى مع قوة 10 نيوتن .

يعود السَّبب في اختلاف رد فعل العظم الوجني تبعاً لاختلاف نمط الشَّد إلى تغيُّر مكان مركز الدَّوران ففي الشَّد المستقيم يدور العظم الوجني حول جسمه وفي الشَّد المنخفض يتوَّضع مركز دوران العظم الوجني إلى الخلف والخارج من جسم العظم الوجني وفي حالة الشَّد العالي يتوَّضع مركز الدَّروان إلى الأمام و الخارج من العظم الوجني. اتفقنا مع (Gautam, Valiathan et al. 2009)

4-2-4-مناقشة التَّغيرات على العظم الجبهي :

تحرَّك كلٌّ من النَّاتئ الوجني وحافة الحجاج العلوية نحو الوحشي مع قوة 5 نيوتن وللأنسي مع قوة 10 نيوتن والخلف مع كلا القوتين والأسفل مع قوة 5 نيوتن و الأعلى مع قوة 10 نيوتن عند تطبيق القوى المماثلة للشَّد العالي ونحو الوحشي والأمام والأسفل

مع تلك المماثلة للشَّد المنخفض والمستقيم ، يعود السَّبب في اختلاف رد فعل العظم الجبهي تبعاً لاختلاف نمط الشَّد إلى تغيُّر مكان مركز الدَّوران .

اختلفنا مع (Gautam, Valiathan et al. 2009) الذي أشار إلى حدوث انتقال نحو الوحشي والخلف والأعلى مع العالي والمستقيم، أمَّا الشَّد العنقي فأدَّى إلى انتقال نحو الوحشي والخلف والأسفل، ويعود الاختلاف إلى اختلاف الطَّريقة التي تمَّت فيها النَّمذجة حيث اعتمد على طريقة التَّرسيم فرَّسم النَّموذج طبقة طبقة وهذا قد يؤدي إلى ابتعاد النَّموذج قليلاً عن الواقع.

4-2-5-مناقشة التَّغيرات على العظم الصِّدغي :

تحرَّكت الحفرة المفصلية والنَّاتئ الوجني للعظم الصدغي إلى الوحشي والأمام والأسفل مع القوى المماثلة للشَّد المستقيم والمنخفض، وإلى الوحشي والخلف والأعلى مع القوى المماثلة للشَّد العالي في كلا القوتين عدا تحرُّك الحفرة المفصلية للوحشي مع قوة 5 نيوتن وللأنسي مع قوة 10 نيوتن عند تطبيق الشَّد العالي، يحتوي الأدب الطِّبي على دراسات قليلة حول ردود فعل الحفرة المفصلية لقوى شد حزام الرَّأس، ولكن قد نفسِّر النَّتائج بناءً على دراسة (Pirtiniemmi et al 1994) التي أظهرت حدوث زيادة في التَّكاثر الخلوي في منطقة اللُّقمة الفكية والسُّطوح العلوية والعلوية الأمامية من الحفرة المفصلية بعد القيام بإعادة توضع تجريبي ثابت للفك السُّفلي عند الأرانب، ومن خلال هذه التَّجارب تبيَّن أنَّ التَّوضع الخلفي العلوي للحفرة المفصلية من الممكن أن يؤدي إلى زيادة في النُّمو اللُّقمي ومن الممكن أن يؤدي أيضاً إلى بناء عظمي وغضروفي بعد

تطبيق قوى حزام الرَّأس، ولهذا تطبيقات سريرية هامَّة عند معالجة سوء الإطباق من الصِّنف الثَّاني باستخدام حزام الرَّأس بالمشاركة مع الأجهزة الوظيفيَّة .

اختلفنا مع (Gautam, Valiathan et al. 2009) الذي أظهر تحركهما إلى الوحشي والخلف والأعلى مع جميع أنماط حزام الرَّأس وهذا قد يعود إلى اختلاف الطَّريقة التي تمَّت فيها النَّمذجة حيث اعتمد على طريقة التَّرسيم فرَّسم النَّموذج طبقة طبقة وهذا قد يؤدي إلى ابتعاد النَّموذج قليلاً عن الواقع.

4-2-6-مناقشة التَّغيرات على القسم الحجاجي من الجناح الكبير و الصَّغير للعظم الوتدي :

عند استخدام القوى المماثلة للشَّد المستقيم والمنخفض تحرَّك الجناحان نحو الوحشي والأسفل والأمام، وعند استخدام قوى مماثلة للشَّد العالي تحرَّكا نحو الوحشي مع قوة 5 نيوتن و للأنسي مع قوة 10 نيوتن والأعلى والخلف مع كلا القوتين، يعود السَّبب في اختلاف رد فعل تبعاً لاختلاف نمط الشَّد إلى تغيُّر مكان مركز الدَّوران اختلفنا مع (Gautam, Valiathan et al. 2009) الذي أظهر تحرُّك الجناح الكبير للأنسي والخلف والأعلى و تحرُّك الجناح الصَّغير نحو الوحشي والخلف والأعلى مع جميع أنماط الشَّد، وهذا قد يعود إلى اختلاف الطَّريقة التي تمَّت فيها النَّمذجة حيث اعتمد على طريقة التَّرسيم فرَّسم النَّموذج طبقة طبقة وهذا قد يؤدي إلى ابتعاد النَّموذج قليلاً عن الواقع.

البَابُ الخَّامس:
الاستنتاجات
Conclusions

1- حدث توَّضع خلفي للفك العلوي و دوران المستوى الحنكي مع عقارب السَّاعة مع القوى المماثلة لأنماط الشَّد الثَّلاثة لحزام الرَّأس .

2- الإزاحة الخلفية للفك العلوي كانت أكبر مع القوى المماثلة لحزام الرَّأس ذي الشَّد المنخفض يليه المستقيم يليه العالي .

3- حدث توَّضع خلفي علوي للفك العلوي بشكل أكبر مع القوى المماثلة لحزام الرَّأس عالي الشَّد وبالتَّالي فهو مفضَّل من أجل حالات السَّيطرة على البعد العمودي.

4- حدث توَّسع خفيف في بنى الفك العلوي والحفرة الأنفية مع القوى المماثلة لأنماط الشَّد الثَّلاثة لحزام الرَّأس.

5- حدث توَّضع خلفي في العظم الوجني مع القوى المماثلة لأنماط الشَّد الثَّلاثة وحدث انزياح نحو الأعلى مع القوى المماثلة للشَّد العالي وانتقال للأسفل مع باقي الأنماط.

6- حدث توَّضع خلفي وعلوي للعظم الجبهي مع القوى المماثلة للشَّد العالي وأمامي سفلي مع القوى المماثلة للشَّد المستقيم والمنخفض.

7- حدث انزياح للحفرة المفصلية نحو الخلف والوحشي والأعلى مع القوى المماثلة للشَّد العالي ونحو الأمام والوحشي والأسفل مع القوى المماثلة للشَّد المستقيم والمنخفض، وهذا قد يؤدي إلى إمكانيَّة حدوث إعادة بناء عظمي وغضروفي في منطقة المفصل عند تطبيق قوى حزام الرَّأس .

8- جميع أنماط حزام الرَّأس كانت فعَّالة في كبح نمو الفك العلوي الأمامي . القوى المماثلة لحزام الرَّأس المنخفض والمستقيم عمل على إعادة توجيه نمو الفك العلوي

للأسفل والخلف، أمَّا القوى المماثلة للشَّد العالي فقد كانت أكثر فعالية في كبح النُّمو الأمامي السُّفلي للفك العلوي .

9- حصلنا تقريباً على نفس النَّتائج عند استخدام القوتين 5-10 نيوتن ولكن كانت أكبر مع استخدام 10 نيوتن وذلك مع تطبيق القوى المماثلة للأنماط المختلفة لحزام الرَّأس .

البَابُ السَّادس:
المقترحات والتوصيات
Suggestions & Recommendations

6-1-المقترحات :

1- نقترح إجراء بحوث علمية تحليليَّة باستخدام العناصر المنتهية لدراسة تأثير القوى النَّاتجة عن حزام الرَّأس بأنماطه المختلفة بالمشاركة مع الأجهزة الوظيفيَّة على المركب القحفي الوجهي .

2- نقترح إجراء بحوث علمية تحليليَّة باستخدام العناصر المنتهية لدراسة تأثير حزام الرَّأس بأنماطه المختلفة على المفصل الفكي الصِّدغي .

3- نقترح إجراء بحوث علمية تحليليَّة باستخدام العناصر المنتهية لدراسة تأثير حزام الرَّأس بأنماطه المختلفة على المركب السِّني العلوي .

4- نقترح إجراء بحوث علمية تحليليَّة باستخدام العناصر المنتهية لدراسة تأثير الأجهزة الأخرى كالقناع الوجهي وكابح الذَّقن والأجهزة الوظيفية الثَّابتة وأجهزة إرجاع الأرحاء على المركب السِّني العلوي وعلى المركب القحفي الوجهي .

5- نقترح إجراء بحوث علمية تحليليَّة باستخدام العناصر المنتهية لدراسة تأثير حزام الرَّأس بخطافات Jعلى المركب السِّني العلوي وعلى المركب القحفي الوجهي .

6-2-التَّوصيات:

1- استخدام حزام الرَّأس العنقي عند المرضى الذين لديهم سوء إطباق من الصِّنف الثَّاني ونقص بالبعد العمودي .

2- استخدام حزام الرَّأس عالي الشَّد عند الحاجة إلى كبح نمو الفك العلوي في الاتجاه الأمامي السُّفلي ومن أجل السَّيطرة على البعد العمودي.

3- استخدام حزام الرَّأس العنقي عند الحاجة إلى كبح النُّمو الأمامي للفك العلوي .

4- استخدام قوة 5 نيوتن في الشَّد بحزام الرَّأس عند الحاجة إلى الحصول على أثر هيكلي في الحالات البسيطة والمتوسطة.

5- استخدام تقنية التَّحليل بالعناصر المنتهية في البحوث العلمية لتكلفتها المنخفضة وتطبيقاتها الواسعة.

الـبَـابُ الـسَّـابـع:

المراجع

References

– A –

- Alexander, R. "The vari-simplex discipline. Part 1. Concept and appliance design." Journal of clinical orthodontics:JCO. 1983.**17**(6): 380.
- Ammar, H. H., P. Ngan, R. J. Crout, V. H. Mucino and O. M. Mukdadi. "Three-dimensional modeling and finite element analysis in treatment planning for orthodontic tooth movement." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics . 2011.**139**(1): e59-e71.
- Antonarakis, G. S. and S. Kiliaridis. "Short-term anteroposterior treatment effects of functional appliances and extraoral traction on class II malocclusion: a meta-analysis." The Angle Orthodontist. 2007. **77**(5): 907-914.
- Armstrong, M. M. "Controlling the magnitude, direction, and duration of extraoral force." American journal of orthodontics. 1971. **59**(3): 217-243.

– B –

- Baumrind S, Molthen R, West EE, Miller DM. Mandibular plane changes during maxillary retraction. Am J Orthod 1978;74:32 40.
- Bishara,S.E.Text book of Orthodontics.W.B. Saunders Company .2001.343-335.
- Boecler, P. R., M. L. Riolo, S. D. Keeling and T. R. TenHave. "Skeletal changes associated with extraoral appliance therapy: an evaluation of 200 consecutively treated cases." The Angle Orthodontist.1989. **59**(4): 264-270.
- Brown, P. "A cephalometric evaluation of high-pull molar headgear and face-bow neck strap therapy." American journal of orthodontics .1978.**74**(6): 621-632.

— C —

- Cattaneo, P., M. Dalstra and B. Melsen. "The finite element method: a tool to study orthodontic tooth movement." Journal of Dental Research.2005. **84**(5): 428-433.
- Cossetin E, Nóbrega SHS, Carvalho MGF. Study of tension in the periodontal ligament using the finite elements method. Dental Press J Orthod. 2012 Jan-Feb;17(1):47-9.

- Craig, R. G. Restorative dental materials. Mosby 1993 ؛ 9th ed :55-57,63-64,93-94

- D -

- Droschl H. The effect of heavy orthopedic forces on the maxilla in the growing Saimiri sciureus (squirrel monkey). Am J Orthod 1973;63:449-61.

- E -

- Epstein, W. N. "Analysis of Changes In Molar Relationships By Means Of Extra-Oral Anchorage (Head-Cap) In Treatment Of Malocclusion1." The Angle Orthodontist .1948.**18**(3): 63-69.

- F -

- Farah, J. and R. Craig. "Distribution of stresses in porcelain-fused-to-metal and porcelain jacket crowns." Journal of dental research .1974.**54**(2): 255-261.
- Field, C., I. Ichim, M. V. Swain, E. Chan, M. A. Darendeliler, W. Li and Q. Li. "Mechanical responses to orthodontic loading: a 3-dimensional finite element multi-tooth model." American

Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2009. **135**(2): 174-181.

- Frost, H. "A determinant of bone architecture: the minimum effective strain." Clinical orthopaedics and related research. 1983. **175**: 286-292.

— G —

- Gautam, P., A. Valiathan and R. Adhikari."Craniofacial displacement in response to varying headgear forces evaluated biomechanically with finite element analysis." American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics.2009.**135**(4): 507-515.
- Gautam, P., A. Valiathan and R. Adhikari. "Skeletal response to maxillary protraction with and without maxillary expansion: a finite element study." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2009. **135**(6): 723-728.
- Ghafari J, Jacobsson-Hunt U, Markowitz DL, Shofer FS, Laster LL. Changes of arch width in the early treatment of Class II, division 1 malocclusions. Am J Orthod Dentofacial Orthop.1994;106:496-502

- Graber T, Vanarsdall R.Orthodontics, Current Principles and Techniques. St Louis, Mo: Mosby; Fifth edition.2013.492-495.

– H –

- Holberg, C., N. Holberg and I. Rudzki-Janson. "Sutural strain in orthopedic headgear therapy: a finite element analysis." Am J Orthod Dentofacial Orthop.2008. **134**(1): 53-59.
- Holberg, C., L. Mahaini and I. Rudzki. "Analysis of sutural strain in maxillary protraction therapy." The Angle Orthodontist . 2007.**77**(4): 586-594.
- Hsu, M.-L. and C.-L. Chang. "Application of finite element analysis in dentistry." InTech .2010: 978-953.
- Huiskes, R. and E. Chao. "A survey of finite element analysis in orthopedic biomechanics: the first decade." Journal of Biomechanics .1983.**16**(6): 385-409.

– I –

- Işeri, H., A. E. Tekkaya, Ö. Öztan and S. Bilgic. "Biomechanical effects of rapid maxillary expansion on the

craniofacial skeleton, studied by the finite element method." The European Journal of Orthodontics .1998.**20**(4): 347-356.

- J -

- Jakobsson SO. Cephalometric evaluation of treatment effects on Class II, Division 1 malocclusion. Am J Orthod .1967;53:41-56
- Jafari, A., K. S. Shetty and M. Kumar. "Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures following application of transverse orthopedic forces-a three-dimensional FEM study." The Angle Orthodontist.2003. **73**(1): 12-20.
- Jimenez, V. "Analysis of root resorption after light and heavy extrusive orthodontic forces."(thesis) Australia. University of Sydney.2010

- K -

- Katada, H., H. Katada and Y. Isshiki. "Changes in orthodontic cephalometric reference." Bulletin of Tokyo Dental College . 2005.**46**(3): 59-65.

- Kirjavainen, M., K. Hurmerinta and T. Kirjavainen. "Facial profile changes in early Class II correction with cervical headgear." The Angle orthodontist . 2007.**77**(6): 960-967.
- Kirjavainen, M. and T. Kirjavainen. "Maxillary expansion in Class II correction with orthopedic cervical headgear. A posteroanterior cephalometric study." The Angle Orthodontist .2003.**73**(3): 281-285.
- Kloehn, S.. "Evaluation of cervical anchorage force in treatment." The Angle Orthodontist. 1961. **31**(2): 91-104.
- Ching-Chang Ko, Eduardo Passos Rocha and Matt Larson (2012). Past, Present and Future of Finite Element Analysis in Dentistry, Finite Element Analysis - From Biomedical Applications to Industrial Developments, ISBN: 978-953-51-0474-2,InTech,Availablefrom: http://www.intechopen.com/books/finite-element-analysis-from-biomedical-applications-to-industrialdevelopments/ past-present-and-future-of-finite-element-analysis-in-dentistry
- Konda P , Tarannum SA , Basic principles of finite element method and its applications in orthodontics , Journal of

Pharmaceutical and Biomedical Sciences (JPBMS) 2012 . Vol. 16, Issue 16

- Korioth, T. and A. Versluis. "Modeling the mechanical behavior of the jaws and their related structures by finite element (FE) analysis." Critical Reviews in Oral Biology & Medicine. 1997. **8**(1): 90-104.

– L –

- Li, F., H. Hu, J. Chen, Z. Liu, G. Li, S. He, S. Zou and Q. Ye . "Comparison of anchorage capacity between implant and headgear during anterior segment retraction: A Systematic Review." The Angle Orthodontist. 2011. **81**(5): 915-922.
- Lima Filho, R. M., A. L. Lima and A. C. de Oliveira Ruellas. "Longitudinal study of anteroposterior and vertical maxillary changes in skeletal class II patients treated with Kloehn cervical headgear." The Angle orthodontist .2003.**73**(2): 187-193.
- Lin, C. L., C. H. Chang and C. C. Ko. "Multifactorial analysis of an MOD restored human premolar using auto-mesh finite element approach." Journal of oral rehabilitation. 2001. **28**(6): 576-585.

- Liu Y, Ru N, Chen J , Yao Liu SS and Peng W .Finite Element Modeling for Orthodontic Biomechanical Simulation Based on Reverse Engineering: A Case Study .Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2013. 6(17): 3267-3276,

– M –

- McNamara Jr, J. A. A.. "Components of Class II malocclusion in children 8-10 years of age." The Angle Orthodontist. 1981. **51**(3): 177-202.
- McNamara Jr, J. A., J. E. Peterson Jr and R. G. Alexander (1996). Three-dimensional diagnosis andmanagement of class II malocclusion in the mixed dentition. Semin Orthod 1996;2:114-137.
- McNamara Jr, William L B. Orthodontics and Dentofacial Orthodontics. Needham Press, Inc.2002 .361-373.
- Meldrum RJ. Alterations in the upper facial growth of Macaca mulatta resulting from high-pull headgear. Am J Orthod 1975; 67:393-411.

- Melsen, B. and H. Enemark. "Effect of cervical anchorage studied by the implant method." The European Journal of Orthodontics .2007. **29**(suppl 1): i102-i106.
- Merrifield, L. L. and J. J. Cross. "Directional forces." American journal of orthodontics .1970.**57**(5): 435-464.
- MeπtroviÊ, S. "Finite Element Method Stress Analysis Caused by Orthodontic Forces." Acta Stomat Croat .2002.**175**: 178.
- Mitani H, Brodie AG. Three plane analysis of tooth movement, growth and angular changes with cervical traction. Angle Orthod 1970;40:80-94
- Miyasaka-Hiraga J, Tanne K, Nakamura S. Finite element analysis for stresses in the craniofacial sutures produced by maxillary protraction forces applied at the upper canines. Br J Orthod 1994;21:343-8.

– N –

- NANDA, R. biomechanics in clinical orthodontics. W.B.Saunders company.1997. 109-142.

– O –

- Oppenheim, A. "Biologic orthodontic therapy and reality." The Angle Orthodontist.1936. **6**(2): 69-116.
- O'Reilly MT, Nanda SK, Close J. Cervical and oblique headgear: a comparison of treatment effects. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1993;103:504-9.

– P –

- Panigrahi, P. and V. Vineeth. "Biomechanical effects of fixed functional appliance on craniofacial structures." The Angle Orthodontist. 2009.**79**(4): 668-675.
- Peters, M., H. Poort, J. Farah and R. Craig. "Stress analysis of a tooth restored with a post and core." Journal of dental research .1983. **62**(6): 760-763.
- Pirttiniemi P, Kantomaa T, Tuominen M, Salo L. Articular disc and eminence modeling after experimental relocation of the glenoid fossa in growing rabbits. J Dent Res .1994;73:536-43.
- Polat-Ozsoy, O., A. Gokcelik, A. Güngör-Acar and B. H. Kircelli. "Soft tissue profile after distal molar movement with a pendulum K-loop appliance versus cervical headgear." The Angle Orthodontist .2008.**78**(2): 317-323.

- Poulton DR. The influence of extraoral traction. Am J Orthod 1967;53:8-18
- Proffit, W. R. Contemporary Orthodontics , Mosby Elesevier.2007.359-361. 526-533.

- R -

- Ricketts RM. The influence of orthodontic treatment on facial growth and development. Angle Orthod 1960;30:103-33.

- S -

- Seth, V, Kamath, P. A Marvel Of Modern Technology: Finite Element Model. . Virtual Journal of Orthodontics [serial online] 2010 December.
- Schudy FF. The rotation of the mandible resulting from growth; its implications in the orthodontic treatment. Angle Orthod 1965;35:36-50

- T -

- Tanne, K., J. Hiraga and M. Sakuda. "Effects of directions of maxillary protraction forces on biomechanical changes in

craniofacial complex." The European Journal of Orthodontics .1989. **11**(4): 382-391.

- Tanne, K. and S. Matsubara. "Association between the direction of orthopedic headgear force and sutural responses in the nasomaxillary complex." Angle Orthod . 1996.**66**(2): 125-130.
- Tanne, K., S. Matsubara and M. Sakuda. "Stress distributions in the maxillary complex from orthopedic headgear forces." Angle Orthod . 1993.**63**(2): 111-118.
- Tanne, K. and M. Sakuda. "Biomechanical and clinical changes of the craniofacial complex from orthopedic maxillary protraction." The Angle Orthodontist. 1991. **61**(2): 145-152.
- Tanne, K., M. Sakuda and C. J. Burstone ."Three-dimensional finite element analysis for stress in the periodontal tissue by orthodontic forces." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics .1987. **92**(6): 499-505.
- Thompson, R. W.. "Extraoral high-pull forces with rapid palatal expansion in the Macaca mulatta." American journal of orthodontics . 1974.**66**(3): 302-317.

- Thresher, R. W. and G. E. Saito. "The stress analysis of human teeth." Journal of biomechanics .1973.**6**(5): 443-449.
- Tortop, T. and S. Yüksel. "Treatment and posttreatment changes with combined headgear therapy." The Angle Orthodontist .2007. **77**(5): 857-863.

– U –

- Ucem TT, Yuksel S. Effects of different vectors of forces applied by combined headgear. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1998;113:316-23.
- Ulusoy, Ç. and N. Darendeliler. "Effects of Class II activator and Class II activator high-pull headgear combination on the mandible: A 3-dimensional finite element stress analysis study." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics . 2008.**133**(4): 490. e499-490. e415.

– V –

- Varady, T., R. R. Martin and J. Cox. "Reverse engineering of geometric models—an introduction." Computer-Aided Design. 1997. **29**(4): 255-268.

- Vikram, N. R., Y. M. Hashir and M. Karthikeyan. "Finite Element Method in Orthodontics." Indian Journal of Multidisciplinary Dentistry. 2010.**1**(1): 40.

– W –

- Wieslander, L. and L. Tandläkare. "The effect of orthodontic treatment on the concurrent development of the craniofacial complex." American Journal of Orthodontics. 1963. **49**(1): 15-27.
- Wylie, W. L. "The Assessment of Anteroposterior Dysplasia 1." The Angle Orthodontist .1947.**17**(3): 97-109.

المراجع العربية

- الشعراني ، ف . أبونصار ، ج . إجهادات الترميمات التاجية الجذرية باستخدام طريقة تحليل العناصر المنتهية و طريقة الاختبارات الميكانيكية . دكتوراة ، جامعة دمشق، 2000.
- العادل ، ع . مراد ، م.ل. دراسة آثار انحراف محور التعويض على نجاح الزرع السني . دكتوراة ، جامعة دمشق ،2006.

الخلاصة :

المقدِّمة : كان الهدف من هذه الدِّراسة هو تقييم نمط الانتقالات للعظام الوجهية عند تطبيق قوى مماثلة لأنماط مختلفة من حزام الرَّأس وذلك باستخدام تقنية التَّحليل بالعناصر المنتهية عالية الدِّقة مقارنة بالدِّراسات السَّابقة .

المواد والطَّرائق : تمَّ الحصول على نموذج تحليلي من خلال صورة طبقي محوري محوسب كان الفاصل بين صوره المتعاقبة هو 0.62 ملم لذكر بعمر 10 سنوات كان النَّموذج يتَّألف من 181956عنصر، وكان عدد العقد 302057عقدة . تمَّ تطبيق قوى و أنماط حزام الرَّأس المختلفة عن طريق تطبيق قوة 5–10 نيوتن في منطقة الرَّحى الأولى الدَّائمة باتجاهات مختلفة لمحاكاة حزام الرَّأس المستقيم والعنقي والعالي، تمَّ حساب مقدار الانتقالات لمختلف البنى القحفية الوجهية على طول المحاور X,Y,Z مع قوى وأنماط حزام الرَّأس المختلفة .

النَّتائج : حدث توَّضع خلفي للفك العلوي و دوران المستوى الحنكي مع عقارب السَّاعة مع أنماط الشَّد الثَّلاثة لحزام الرَّأس . الإزاحة الخلفية للفك العلوي كانت أكبر مع حزام الرَّأس ذي الشَّد العنقي يليه المستقيم . كان حزام الرَّأس عالي الشَّد أفضل من أجل حالات السَّيطرة على البعد العمودي. حدث انزياح للحفرة المفصلية نحو الخلف و الوحشي والأعلى مع الشَّد العالي و نحو الأمام و الوحشي والأسفل مع الشَّد المستقيم والمنخفض.

الخاتمة : حزام الرَّأس عالي الشَّد كان أكثر فعاليَّة في كبح النُّمو الأمامي السُّفلي للفك العلوي . مركز الدوران يختلف تبعاً لاختلاف اتجاه قوى حزام الرَّأس وذلك للفك العلوي

والعظم الوجني . هناك احتمال لبناء عظمي وغضروفي في الحفرة المفصلية بعد تطبيق قوى حزام الرَّأس .

الكلمات المفتاحية :تقنية العناصر المنتهية – حزام الرَّأس – الانتقال – المركب القحفي الوجهي.

Abstract

Introduction: The aim of this study was to evaluate biomechanically the displacement patterns of the facial bones in response to different headgear loading and forces by using a higher-resolution finite element method model than used in previous studies.

Methods: An analytical model was developed from sequential computed tomography scan images taken at 0.62-mm intervals of a mail of a 10-year-old This model consisted of 181,956 elements, 302,057 nodes. Different headgear forces were simulated by applying 5-10 N of posteriorly directed force in the first molar region to simulate cervical-pull, straight-pull, and high-pull headgear. Displacements of various craniofacial structures were evaluated along the x, y, and z coordinates with different headgear loading.

Results: All 3 headgears demonstrated posterior displacement of the maxilla with clockwise rotation of the palatal plane. The distal displacement of the maxilla was the greatest with the cervical -pull headgear followed by the straight -pull headgear. The high-pull headgear had better control in the vertical dimensions. The articular fossa was displaced laterally and postero-superiorly with high-pull

headgear and displaced laterally and antero-inferiorly with straight and cervical-pull headgear

Conclusions: The high-pull headgear was most effective in restricting the antero-inferior maxillary growth vector. The center of rotation varied with the direction of headgear forces for both the maxilla and the zygomatic complex. A potential for chondrogenic and osteogenic modeling exists for the articular fossa with headgear loading.

Key Words: finite element method – headgear- displacement- craniofacial complex .