

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَمَا أُنْتَبِهَ مِنْكُمْ إِلَّا قَلِيلًا

سورة الإسراء (آية 85)



## قرار لجنة الحكم على رسالة الماجستير

الإخوة الزملاء - أخواتي الطلبة

بناءً على قانون تنظيم الجامعات الصادر بالقانون رقم 6/ تاريخ 2006/1/4 وعلى المادة 164/ من اللائحة التنفيذية لقانون تنظيم الجامعات الصادر بالمرسوم 250/ تاريخ 2006/7/10 وعلى قرار مجلس التعليم العالي رقم 68/ تاريخ 2006/11/16 وقرار مجلس الجامعة رقم 8/1437 تاريخ 2010/1/15 (المتضمن إجراءات القيد في الدراسات العليا وتشكيل لجان الحكم وإجراءات المناقشة العلنية للرسائل و الأطروحات والدفاع عنها ومنح الدرجات العلمية) والمادة الأولى من نظام الدراسات العليا لكلية طب الأسنان التي تهدف إلى إعداد المختصين في مختلف ميادين طب الأسنان وتأهيل الطلاب وتزويدهم بمستوى عال من المعرفة في مجال اختصاصهم والنهوض والمشاركة بالبحوث العلمية في مجالات طب الأسنان وفي هذه المناسبة نقدم إليكم موضوع رسالة الماجستير للباحث د. لؤي حجازي من مواليد التل 1988م حيث تخرج من كلية طب الأسنان جامعة دمشق عام 2011م. بتقدير جيد جداً وسجل موضوع الماجستير في عام 2014م جامعة دمشق وقضى سنتين في تحضير رسالته وكان خلال فترة دراسته مثالا للطالب النشط الذي يتابع أموره بكل دقة ومهارة.

### ((قرار لجنة الحكم))

بناءً على قرار مجلس الشؤون العلمية في جامعة دمشق رقم 2258/ تاريخ 2016/6/13 المتخذ بجلسته رقم 20/ بالموافقة على تأليف لجنة الحكم على

رسالة الماجستير للسيد الباحث لؤي حجازي

وذلك من السادة الأساتذة التالية أسماؤهم:

1- الأستاذ الدكتور عيسى وهبة

2- الأستاذ المساعد الدكتور خلدون درويش

3- المدرس الدكتور عدنان عبد المجيد

(مضواً)

(مشرفاً)

(مضواً)

وبعد ان تمت مناقشة هذه الأطروحة والاطلاع عليها والدفاع عنها بحضور اساتذة و طلاب الدراسات العليا في كلية طب الأسنان وعدد من المهتمين بالبحث العلمي وذلك في تمام الساعة الحادية عشرة صباحاً من يوم الخميس الواقع في تاريخ 2016/8/18م على مدرج كلية طب الأسنان بجامعة دمشق

### ((عنوان البحث))

**دراسة مقارنة لعدة طرق في تثبيت كسور عنق لقمة الفك السفلي**

**باستخدام تحليل العناصر المنتهية**

وبعد ان تداولت اللجنة في تقييم الأطروحة والدفاع عنها . فقد قررت اللجنة بالإجماع ما يلي

المجموع (100)

براءة الاختراع (5)

نشر البحث (5)

العرض والدفاع (45)

تقييم الأطروحة (45)

٩٠

٥

٤٤

٤١

1- منح الباحث لؤي حجازي من مواليد التل عام 1988م الماجستير في اختصاص جراحة الفم والفكين بتقدير

مميزاً جداً ..... وعلامة قدرها ..... ٩٠

2- يرفع هذا القرار إلى المجالس المختصة للمصادقة عليها أصولاً

الأستاذ الدكتور عيسى وهبة

الأستاذ المساعد الدكتور خلدون درويش

المدرس الدكتور عدنان عبد المجيد



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية طب الأسنان

قسم جراحة الفم والوجه والفكين

**دراسة مقارنة لعدة طرق في تثبيت كسور عنق لقمة الفك السفلي  
باستخدام تحليل العناصر المنتهية**

**Finite element analysis of several  
mandibular condylar neck fracture  
osteosynthesis methods**

أطروحة قدّمت إلى جامعة دمشق لنيل درجة الماجستير في طب الأسنان  
اختصاص جراحة الفم والوجه والفكين

**لؤي عمر حجازي**

**إعداد:**

**(مشرف)**

**أ.م.د. خلدون درويش**

**إشراف:**

**(مشرف مشارك)**

**م.د. محمد أيهم درويش**

**ماجستير**

**1437هـ - 2016م**

## تصريح

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

## الإهداء: Dedication

إلى حبيبي وقدوتي ومعلمي الأول وفدائي وسيدي رسول الله... محمد نبيي

صلى الله عليه وسلم

إلى أستاذي ومرشدي وقدوتي... حبيبي أبي

إلى شعلتي ومنارة أيامي وروحي... حبيبتي أمي

إلى أمي الثانية وأنيستي في وحشتي... سوزان أختي

إلى رفيقي وشريكي في حياتي بابا كُرَيَّة... وائل أخي

إلى من أعلّق بها الآمال أن تنشر الفرح في الأكوان... فرح أختي

إلى أهلي... وأمتي... وبلادي... ومسقط رأسي... سوريّتي

## الشكر : Acknowledgement

الشكر أولاً وآخراً لله رب العالمين الذي وهبني العقل والسمع والبصر ويسّر لي ما وصلت له وأكرمني بنعم لا تعدّ ولا تحصى.

ثم لوالديّ اللّذين كان لهما اليد الطولى في تربيّتي وتعليمي أفضل التربية والتعليم وسهرهم عليّ بالتحفيز والترغيب والتذكير والإرشاد والنصح أسأل الله لهما البركة والقبول والسعادة في الدارين.

ثم لأستاذي الذي زادني شرفاً أن أشرف على بحثي الذي لطالما اعتبرته قدوة لي في بحثي وعلمي لإخراج هذه الرسالة بأفضل حلّة وبذل قصارى جهدي لتحسين أدائي واطلاعي على الجديد في هذا المجال، ولطالما كان له الأثر في تحفيزي وشحن همّتي كلما خبت، الشكر للدكتور **خلدون درويش**.

وبالتأكيد أستاذي الذي شارك مشرفي بالتوجيه والمساندة وأشكره على قربه مني كلما احتجت إليه الشكر للدكتور **محمد أيهم درويش**.

كما أشكر الأستاذ الدكتور **عيسى وهبة** على قبوله تحكيم هذا البحث، والشكر موصول أيضاً إلى الدكتور **عدنان عبد المجيد** على تحكيمه لهذا البحث وتقديمه الملاحظات القيّمة لإجراء التعديلات النهائية الهامة والمفيدة وخاصة فيما يتعلّق بالجانب الشعاعي من البحث.

أشكر أستاذي الغالي الذي شجّعني ودفعني نحو الأعالي **مازن زيناتي** رئيس قسم جراحة الفكين السابق، والشكر لأستاذي **عمر حشمة** رئيس قسم جراحة الفم والفكين على تيسيره لي الكثير من الأمور ووقوفه بجانبني في كثير من الأوقات.

الشكر موجّه أيضاً للعميد الدكتور **محمد سالم ركاب** والوكيلين العلمي الدكتور **عمار مشلح** والإداري الدكتور **محمد إياد الحفار**، ولا أنسى شكر العميد السابق الدكتورة **رزان خطاب** والوكيلين السابقين الدكتور **محمد ياسر المدلل** والدكتور **محمد إياد الشعراني** لهم مني الشكر.

وبصراحة كان من بين كلّ زملائي اثنين قدّما لي ما أحتاجه من مراجع ودعم نفسي ونصائح علمية وغير ذلك الكثير أولهم أستاذي في مجال تحليل العناصر المنتهية وأخي الدكتور محمد يامن الشرجي المزيك الذي كوّن عندي اللبنة الأساسية لبناء هذا العمل بتزويدي بأهم البرامج والمقالات العلمية والتوجيهات العملية فأشكره على ما قدّم لي وكذلك الدعم النفسي. ومن ثمّ أخي العزيز الدكتور نور الدين الخاناتي الذي يعجز لساني عن شكره وبخاصة على تزويدي بأحدث المقالات.

ولا أنسى بالتأكيد أخي الشقيق وائل حجازي الذي كان له عليّ الأفضال بملاحظات الكتابة والتنسيق العام للنصوص وكذلك تزويدي بالمعلومات والفهم حول العمليات الميكانيكية وتحليلها بحكم دراسته في الهندسة المدنية، إضافة لمساعدتي في إخراج الرسالة بالحلّة النهائية.

وأشكر كلّ من زملائي الدكتور فراس سليمان، الدكتور صلاح صبرة، على دعمهم النفسي والفكري والتقني، كما أشكر القسم التقني في كلية طب الأسنان لتقديمه الدعم التقني والبرمجي في هذا البحث.

أشكر زميلي الدكتور شادي يازجي الذي وجّهني في بداية اختياري للبحث إلى دراسة موضوع يخصّ لقمة الفك السفلي.

أشكر أستاذي الدكتور أمجد زوايري رئيس قسم جراحة الفم والوجه والفكين في مشفى الملك عبد العزيز في الطائف (المملكة العربية السعودية) على تقديمه الدعم الفني المطلوب للحصول على الصور الشعاعية المناسبة للبحث إضافة لتحفيزه لي وتوجيهه إياي نحو القراءة العلمية الممنهجة.

أخصّ أيضاً أختي الكبيرة بشكر وزوجها الغالي فقد كانا نعم العون والسند في غياب أهلي وبخاصة استضافتي لديهم في منزلهم المبارك، وكذلك شixي وأستاذي ومعلمي الشix عبد الحكيم حج عثمان ومؤازرته لي بالدعاء والنصح والتوجيه بارك الله به، وأخي الدكتور أحمد ضميرية على ما قدّمه من مساعدة، وأخي محمد هدلة، وأخي الدكتور سامي غرة، الدكتور أنس عبده، الدكتور عبد اللطيف أحمد، الأستاذ نبيل قصيباتي، ومن لم أذكرهم عسى أن يذكرهم ربي بخير فهو حسبي ونعم الوكيل وهو الله الذي لا يضيع أجر المحسنين.

## 1 قائمة المحتويات: List of contents

|           |                                      |           |
|-----------|--------------------------------------|-----------|
| 12        | قائمة الجداول                        | 2         |
| 13        | قائمة الأشكال                        | 3         |
| 17        | قائمة الاختصارات                     | 4         |
| 18        | المقدمة                              |           |
| 19        | أهداف البحث                          |           |
| <b>20</b> | <b>الباب الأول: المراجعة النظرية</b> | <b>-1</b> |
| 21        | لمحة تشريحية                         | -1-1      |
| 21        | الفك السفلي                          | -1-1-1    |
| 24        | كسور لقمة الفك السفلي                | -2-1      |
| 24        | انتشار كسور اللقمة                   | -1-2-1    |
| 25        | أسباب كسور اللقمة                    | -2-2-1    |
| 28        | تصنيف كسور اللقمة                    | -3-2-1    |
| 29        | تصنيف (Wassmund, 1927)               | -1-3-2-1  |
| 29        | تصنيف (Wassmund, 1934)               | -2-3-2-1  |
| 29        | تصنيف (MacLennan, 1952)              | -3-3-2-1  |
| 30        | تصنيف (Rowe & Killy, 1955)           | -4-3-2-1  |
| 30        | تصنيف (Dingman & Natvig, 1964)       | -5-3-2-1  |
| 30        | تصنيف (Spiessl & Schroll, 1972)      | -6-3-2-1  |
| 31        | تصنيف (Lindahl, 1977)                | -7-3-2-1  |
| 32        | تصنيف (Krenkel, 1997)                | -8-3-2-1  |
| 32        | تصنيف (Ellis, 1999)                  | -9-3-2-1  |
| 33        | تصنيف (Neff, 1999)                   | -10-3-2-1 |

|    |                                                |           |
|----|------------------------------------------------|-----------|
| 33 | تصنيف (Hlawitschka & Eckelt, 2002)             | -11-3-2-1 |
| 34 | تصنيف (Loukota, 2005)                          | -12-3-2-1 |
| 36 | تطور مفاهيم المعالجة                           | -4-2-1    |
| 40 | المعالجة الجراحية لكسور لقمة الفك السفلي       | -5-2-1    |
| 42 | تقنيات التثبيت المستخدمة مع كسور عنق اللقمة    | -6-2-1    |
| 42 | تقنية الصفيحة المستقيمة الوحيدة                | -1-6-2-1  |
| 43 | تقنية الصفيحتين                                | -2-6-2-1  |
| 44 | الصفيحة شبه المنحرفة                           | -3-6-2-1  |
| 45 | برغي لاغ                                       | -4-6-2-1  |
| 46 | تقنية الصفيحة بشكل دلتا                        | -5-6-2-1  |
| 47 | مبادئ الميكانيك الحيوي                         | -3-1      |
| 48 | أنواع الإجهادات                                | -1-3-1    |
| 49 | الانفعال Strain                                | -2-3-1    |
| 49 | منحنيات الإجهاد والانفعال Stress-Strain Curves | -3-3-1    |
| 51 | مقاومة الخضوع Yield Strength                   | -4-3-1    |
| 51 | معامل المرونة Elastic Modulus                  | -5-3-1    |
| 52 | معامل بواسون                                   | -6-3-1    |
| 52 | الميكانيك الحيوي للعظام                        | -7-3-1    |
| 53 | القوى العضلية                                  | -8-3-1    |
| 54 | محصلة قوى المضغ                                | -9-3-1    |
| 54 | تحديد الإجهادات العظمية                        | -10-3-1   |
| 55 | طرائق الاختبار الميكانيكية                     | -11-3-1   |
| 56 | الاختبارات الميكانيكية العامة                  | -1-11-3-1 |
| 56 | اختبارات انتشار الضوء في الأجسام المرنة        | -2-11-3-1 |

|    |                                                   |           |
|----|---------------------------------------------------|-----------|
| 56 | النمذجة الحاسوبية (تقنية العناصر المنتهية)        | -3-11-3-1 |
| 56 | أجهزة قياس الانفعالات Strain gauge                | -4-11-3-1 |
| 57 | تقنية العناصر المنتهية Finite Element Method      | -4-1      |
| 57 | لمحة تاريخية                                      | -1-4-1    |
| 57 | ما هي تقنية العناصر المنتهية؟                     | -2-4-1    |
| 58 | النمذجة الحاسوبية باستخدام تقنية العناصر المنتهية | -3-4-1    |
| 59 | التصميم الهندسي                                   | -1-3-4-1  |
| 60 | التقطيع Meshing                                   | -2-3-4-1  |
| 60 | خصائص المواد Material Properties                  | -3-3-4-1  |
| 61 | تحديد الشروط الحدية وشروط التثبيت وشروط التحميل   | -4-3-4-1  |
| 61 | محاسن ومساوئ تقنية العناصر المنتهية               | -4-4-1    |
| 61 | المحاسن                                           | -1-4-4-1  |
| 62 | المساوئ                                           | -2-4-4-1  |
| 62 | الدراسات السابقة                                  | -5-1      |
| 62 | دراسة Costa – 2012                                | -1-5-1    |
| 67 | دراسة Aquilina – 2013                             | -2-5-1    |
| 68 | دراسة Parascandolo – 2010                         | -3-5-1    |
| 69 | دراسة Abdul Kadir – 2008                          | -4-5-1    |
| 69 | دراسة Wagner – 2002                               | -5-5-1    |
| 71 | دراسة Kozakiewicz – 2013                          | -6-5-1    |

|     |                                          |                    |          |
|-----|------------------------------------------|--------------------|----------|
| 72  | الباب الثاني: المواد والطرائق            |                    | -2       |
| 73  | وصف عينة الدراسة                         |                    | -1-2     |
| 75  | مواصفات النماذج                          |                    | -1-1-2   |
| 76  | المواد Materials                         |                    | -2-2     |
| 76  | التجهيزات Hardware                       |                    | -1-2-2   |
| 76  | البرمجيات Software                       |                    | -2-2-2   |
| 77  | مواصفات الصورة الشعاعية المرجعية         |                    | -1-2-2-2 |
| 78  | الطرائق Methods                          |                    | -3-2     |
| 78  | بناء النموذج Building of Geometry        |                    | -1-3-2   |
| 78  | نمذجة الفك السفلي                        |                    | -1-1-3-2 |
| 83  | نمذجة الصفائح والبراغي                   |                    | -2-1-3-2 |
| 89  | وضع المثبتات على الفك السفلي             |                    | -2-3-2   |
| 90  | التجزئة إلى عناصر منتهية                 |                    | -3-3-2   |
| 92  | استخراج المُجسّمات الحجميّة              |                    | -4-3-2   |
| 94  | إعطاء الفك خواصّه المادية                |                    | -5-3-2   |
| 97  | تحليل العناصر المنتهية (FEA)             |                    | -6-3-2   |
| 97  | مرحلة ما قبل المعالجة Preprocessing      |                    | -1-6-3-2 |
| 102 | مرحلة التحليل                            | المتغيرات المدروسة | -2-6-3-2 |
| 103 | الانفعالات المكافئة في كامل الفك         |                    | أ-       |
| 104 | الإجهادات المكافئة في الصفائح والبراغي   |                    | ب-       |
| 104 | الإجهادات المكافئة المتوزّعة حول البراغي |                    | ج-       |
| 106 | الانزياحات الحاصلة في سطح الكسر          |                    | د-       |
| 106 | مرحلة استخراج النتائج وعرضها             |                    | -3-6-3-2 |

|     |                                                |          |
|-----|------------------------------------------------|----------|
| 107 | الباب الثالث: النتائج                          | -3       |
| 108 | نتائج التحاليل المجرة                          | -1-3     |
| 110 | الانفعالات والإجهادات المكافئة Von Mises       | -1-1-3   |
| 110 | الانفعالات المكافئة Strain في الفك             | -1-1-1-3 |
| 110 | الإجهادات المكافئة في العناصر المثبتة          | -2-1-1-3 |
| 110 | الإجهادات المكافئة في العظم حول البراغي        | -3-1-1-3 |
| 117 | الانزلاقات                                     | -2-1-3   |
| 120 | الباب الرابع: المناقشة                         | -4       |
| 122 | مناقشة المواد والطرائق                         | -1-4     |
| 122 | مناقشة عينة الدراسة                            | -1-1-4   |
| 123 | نمذجة الفك السفلي                              | -2-1-4   |
| 123 | محاكاة الفك السفلي بشكل كامل أم جزئي؟          | -3-1-4   |
| 124 | محاكاة الشروط الحدية (القوى الشاذة والتقييدات) | -4-1-4   |
| 126 | محاكاة بنية عظم الفك السفلي                    | -5-1-4   |
| 128 | مناقشة النتائج                                 | -2-4     |
| 128 | توزع الانفعالات في كامل الفك                   | -1-2-4   |
| 129 | تحمل العناصر المثبتة للإجهادات                 | -2-2-4   |
| 131 | الامتصاص العظمي حول البراغي                    | -3-2-4   |
| 132 | استقرار الكسر                                  | -4-2-4   |
| 136 | خلاصة المناقشة                                 | -3-4     |

|     |                                            |      |
|-----|--------------------------------------------|------|
| 137 | الباب الخامس: الاستنتاجات                  | 5-   |
| 140 | الباب السادس: المقترحات والتوصيات          | 6-   |
| 141 | المقترحات                                  | 6-1- |
| 142 | التوصيات                                   | 6-2- |
| 143 | الباب السابع: المراجع                      | 7-   |
| 144 | المراجع الأجنبية                           | 7-1- |
| 168 | المراجع العربية                            | 7-2- |
| أ   | الملخص                                     |      |
| هـ  | الملحقات                                   | م-   |
| و   | قرار موافقة النشر في مجلة جامعة حلب        | م-1- |
| ز   | توحيد المدخلات بين النماذج المختلفة        | م-2- |
| ح   | مناورات خاصة ببرنامج MIMICS                | م-3- |
| ح   | تعديل الملفات قبل إدخالها إلى برنامج ANSYS | م-4- |
| ك   | صور                                        | م-5- |

## 2 قائمة الجداول : List of Tables

|          |                                                                 |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----|
| <b>1</b> | <b>الباب الأول: المراجعة النظرية</b>                            |     |
| 1-1      | العضلات الماضغة منشأ كل منها ومرتكزها وعملها                    | 23  |
| 2-1      | دراسات مختلفة حول نسبة كسور لقمة الفك السفلي بحسب المنطقة       | 25  |
| 3-1      | يبيّن أسباب كسور اللقمة في أماكن جغرافية مختلفة                 | 26  |
| 4-1      | القوى المطبقة وأشكال الإجهادات المتشكلة                         | 48  |
| 5-1      | الدراسات التي وافقت معايير الاختيار                             | 63  |
| 6-1      | الدراسات المخبرية (Costa et al., 2012)                          | 64  |
| 7-1      | الدراسات المحوسبة (Costa et al., 2012)                          | 64  |
| <b>2</b> | <b>الباب الثاني: المواد والطرائق</b>                            |     |
| 1-2      | مجموعة الدراسة والنماذج النهائية                                | 73  |
| 2-2      | عدد العناصر والعقد في النماذج النهائية                          | 75  |
| 3-2      | المركبات الثلاثة للحزم العضلية التي تمت محاكاتها في هذه الدراسة | 82  |
| 4-2      | قيم الخواص المادية الثمان في النموذج النهائي                    | 96  |
| <b>3</b> | <b>الباب الثالث: النتائج</b>                                    |     |
| 1-3      | يبيّن نتائج العمليات الحسابية لنماذج المجموعة (م)               | 109 |
| 2-3      | يبيّن نتائج العمليات الحسابية لنماذج المجموعة (س)               | 109 |
| <b>4</b> | <b>الباب الرابع: المناقشة</b>                                   |     |
| 1-4      | يبيّن خلاصة النتائج المقبولة والمرفوضة لجميع النماذج            | 136 |

### 3 قائمة الأشكال: List of Tables

| 1    | الباب الأول: المراجعة النظرية                                                  |    |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1-1  | تشریح الفك السفلي وأماكن ارتكاز العضلات الماضغة عليه                           | 23 |
| 2-1  | الانحراف والانزياح والانخلاع                                                   | 28 |
| 3-1  | تصنيف كسور اللقمة بحسب Spiessl و Schroll                                       | 31 |
| 4-1  | تصنيف كسور اللقمة بحسب Loukota                                                 | 34 |
| 5-1  | كسور لقمة الفك السفلي (الرأس والعنق والقاعدة)                                  | 35 |
| 6-1  | مسايرة الصفيحة شبه المنحرفة لقوى الشد                                          | 44 |
| 7-1  | أشكال وقياسات الصفيحة شبه المنحرفة                                             | 44 |
| 8-1  | مبدأ عمل البرغي لاغ في تثبيت كسور لقمة الفك السفلي                             | 45 |
| 9-1  | شكل الصفيحة دلتا والدراسة المجراة عليها                                        | 46 |
| 10-1 | منحنى إجهاد - إنفعال                                                           | 50 |
| 11-1 | نموذج كهروضوئي في دراسة على الفك السفلي                                        | 55 |
| 12-1 | النماذج المدروسة في دراسة Aquilina                                             | 67 |
| 13-1 | تقنية الصفيحتين المسابرتين في دراسة Parascandolo                               | 68 |
| 14-1 | (1) مستويات كسر عنق اللقمة في دراسة Wagner<br>(2,3) صور لفشل الصفيحة المستقيمة | 70 |
| 15-1 | الصفائح المدروسة في دراسة Kozakiewicz                                          | 71 |

| 2    | الباب الثاني: المواد والطرائق                               |    |
|------|-------------------------------------------------------------|----|
| 1-2  | النموذج الشاهد                                              | 73 |
| 2-2  | النماذج الستة الخاصة بالمجموعة (م)                          | 74 |
| 3-2  | النماذج الستة الخاصة بالمجموعة (س)                          | 74 |
| 4-2  | إعادة بناء لبيانات الصورة الشعاعية المرجعية                 | 77 |
| 5-2  | واجهة البرنامج MIMICS بعد قراءة المقاطع الشعاعية            | 79 |
| 6-2  | التحديد التلقائي باستخدام التعقيب بعد اقتصاص الصورة         | 80 |
| 7-2  | تحديد مستويات القطع على النموذج                             | 83 |
| 8-2  | النموذج السطحي النهائي على برنامج 3-Matic                   | 83 |
| 9-2  | الصور المرجعية لأخذ القياسات الصحيحة للمثبتات               | 84 |
| 10-2 | تصميم الصفحة المستقيمة وثنيها في برنامج Solid Works         | 85 |
| 11-2 | تصميم صفحة الدلتا باستخدام برنامج Solid Works               | 86 |
| 12-2 | تصميم الصفحة شبه المنحرفة في برنامج Solid Works             | 86 |
| 13-2 | ثني ووضع الصفحتين المسابرتين عبر Solid Works و 3-Matic      | 87 |
| 14-2 | ثني الصفحة شبه المنحرفة عبر خاصية Flex في Solid Works       | 87 |
| 15-2 | شكل البرغي وأبعاده وطريقة تصميمه برنامج Solid Works         | 88 |
| 16-2 | حذف التقاطعات مع البراغي وتنعيم السطوح ووضع الصفحة          | 90 |
| 17-2 | التجزئة التلقائية Auto remeshing للصفحة                     | 91 |
| 18-2 | تجزئة قناع النموذج إلى مثلثات ذات أحجام مختلفة              | 92 |
| 19-2 | تحويل الصفحة من قناع إلى نموذج حجمي                         | 93 |
| 20-2 | تخصيص مواد النموذج باستخدام برنامج MIMICS                   | 95 |
| 21-2 | مجموعات العناصر بحسب الكثافة الشعاعية (النموذج س1)          | 96 |
| 22-2 | فتح الملف (.cdb) في Finite Element Modeler عبر Ansys        | 98 |
| 23-2 | تعديل الخواص للمحافظة على الترقيم الأساسي لعناصر نموذج الفك | 99 |

|     |                                                              |          |
|-----|--------------------------------------------------------------|----------|
| 99  | الهيكل الأولي في برنامج Finite Element Modeler               | 24-2     |
| 100 | تغيير الإعدادات للاستفادة من السطوح العقدية في الهيكل الأولي | 25-2     |
| 101 | نقل البيانات إلى مشروع Static Structural في برنامج Ansys     | 26-2     |
| 102 | النموذج النهائي مع الشروط الحدية والعضلات ومبدأ الإحداثيات   | 27-2     |
| 105 | حساب الإجهادات حول البراغي باستخدام مبدأ إحداثيات قطبي       | 28-2     |
|     | <b>الباب الثالث: النتائج</b>                                 | <b>3</b> |
| 111 | الخرائط اللونية لتوزيع الانفعالات في الفك لجميع النماذج      | 1-3      |
| 112 | مخطط بياني يوضح الانفعالات المتوزعة في الفك لنماذج (م)       | 2-3      |
| 112 | مخطط بياني يوضح الانفعالات المتوزعة في الفك لنماذج (س)       | 3-3      |
| 113 | الخرائط اللونية لتوزيع الإجهادات في المثبتات لنماذج (م)      | 4-3      |
| 113 | الخرائط اللونية لتوزيع الإجهادات في المثبتات لنماذج (س)      | 5-3      |
| 114 | مخطط بياني يوضح الإجهادات في المثبتات لنماذج (م)             | 6-3      |
| 114 | مخطط بياني يوضح الإجهادات في المثبتات لنماذج (س)             | 7-3      |
| 115 | الخرائط اللونية لتوزيع الإجهادات حول البراغي في جميع النماذج | 8-3      |
| 116 | مخطط بياني يوضح الإجهادات في العظم حول بالبراغي لنماذج (م)   | 9-3      |
| 116 | مخطط بياني يوضح الإجهادات في العظم حول بالبراغي لنماذج (س)   | 10-3     |
| 118 | الخرائط اللونية للانزياحات الكلية لنماذج (م)                 | 11-3     |
| 118 | الخرائط اللونية للانزياحات الكلية لنماذج (س)                 | 12-3     |
| 119 | مخطط بياني يوضح الانزياحات في سطح الكسر لنماذج (م)           | 13-3     |
| 119 | مخطط بياني يوضح الانزياحات في سطح الكسر لنماذج (س)           | 14-3     |

| م   | الملحقات                                                    |   |
|-----|-------------------------------------------------------------|---|
| م-1 | قرار موافقة النشر في مجلة جامعة حلب                         | و |
| م-2 | التأكد من التسلسل الرقمي المتطابق بين ملفي 3-Matic و MIMICS | ط |
| م-3 | إضافة السطوح من ملف 3-Matic إلى ملف MIMCS                   | ي |
| م-4 | تعديل الملف (.cdb) باستخدام قارئ الملفات النصية             | ي |
| م-5 | المجموعات الثمانية وكثافتها الشعاعية وتوزعها ضمن النموذج    | ك |
| م-6 | أبعاد وقياسات الصفيحة المستقيمة والصفيحة شبه المنحرفة       | ل |
| م-7 | أبعاد وقياسات صفيحة الدلتا والصفيحة A                       | م |

#### 4 قائمة الاختصارات: List of abbreviation

| المصطلح الأجنبي                          | الاختصار     | الترجمة العربية                               |
|------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------|
| Coded database                           | .cdb         | لاحقة ملفات (قاعدة بيانات مشفرة)              |
| Computer-Aided Design                    | CAD          | التصميم بمساعدة الحاسب الآلي                  |
| Computational Fluid Dynamics             | CFD          | حوسبة حركة السوائل                            |
| Elastic Modulus                          | E            | معامل المرونة                                 |
| Finite Element Modeler                   | FEM          | معالج العناصر المنتهية                        |
| Finite Element Method                    | FEM          | تقنية العناصر المنتهية                        |
| Hounsfield units                         | HU           | وحدات الهاونسفيلد، الكثافة الشعاعية           |
| Identification                           | ID           | الهوية التعريفية                              |
| Intermaxillary fixation                  | IMF          | التثبيت بين الفكي                             |
| Deformation                              | $\Delta L$   | التغير في الطول (التشوّه)                     |
| Megapascal                               | MPa          | ميغا باسكال (واحدة ضغط)                       |
| Micro                                    | $\mu$        | ميكرو (تصغير الواحدة مليون مرة)               |
| Open reduction and internal fixation     | ORIF         | التثبيت الصلب بالرد المفتوح                   |
| Adope Photoshop bitmap                   | .psd         | لاحقة ملفات برنامج الفوتوشوب                  |
| Structural Analysis Package              | SAP          | برنامج لإجراء التحاليل البنيوية               |
| Strasbourg Osteosynthesis Research Group | S.O.R.G      | مجموعة سترازبورغ البحثية في مجال تثبيت الكسور |
| Stereolithography                        | STL          | مُجسّم فراغي                                  |
| Trapezoidal Condyle Plate                | TCP          | الصفحة شبه المنحرفة                           |
| Tetrahedron-shaped with 4 nodes          | TET4         | شكل رباعي السطوح ذو أربع عقد                  |
| Text                                     | .txt         | لاحقة ملف نصّي                                |
| Microsoft Excel worksheet                | .xls         | لاحقة ملفات برنامج الإكسيل                    |
| Three dimintional                        | 3-D          | ثلاثي البعد                                   |
| <i>Poisson's Ratio (neo)</i>             | $\nu$        | معامل بواسون                                  |
| von Mises Stress                         | $\sigma \nu$ | الإجهاد المكافئ                               |



من الجليّ عند أيّ ممارس في جراحة الفم والوجه والفكين الحجم الذي تشغله كسور هذه المنطقة ضمن هذا المجال، كما تعدّ كسور لقمة الفك السفلي من الكسور المميّزة في قسم الرضوض الوجهية الفكّية.

استقطبت هذه الكسور الكثير من النقاش والجدل حول طريقة المعالجة المستخدمة ( Eckelt et al., 2006, Brandt and Haug, 2003, Haug and Assael, 2001)، ومع تطوّر العلوم المختلفة توجّهت المعالجات حديثاً من المعالجة بالطريقة المحافظة إلى المعالجة الجراحية (Spinzia et al., 2014).

لم تنته المناقشات عند هذا الحد بل تطوّرت لتشمل تفاصيل إضافية مثل نوع وشكل وعدد المثبتات المستخدمة في تثبيت الكسر والمكان الأمثل لتطبيقها، فقامت الدراسات المختلفة (السريرية والمخبرية والمحوسبة) لاختبار تقنيات التثبيت القديمة والحديثة لاستنتاج أفضل تقنية تثبيت لمثل هذه الكسور ( Kozakiewicz and Swiniarski, 2014, Aquilina et al., 2015, de Jesus et al., 2014, Schneider et al., 2010, Abdel-Galil and Loukota, 2010).

تطوّر استخدام تقنية العناصر المنتهية في المجال الطبي كثيراً في الآونة الأخيرة وخاصّة في مجال معالجة الكسور الوجهية ( Lovald et al., 2006, Tams et al., 2001)، وتمّ إثبات فاعليتها في تقييم الصفائح المستخدمة للتثبيت من خلال عدد من الدراسات ( Lovald et al., 2009, Wagner et al., 2002, Fernandez et al., 2003)، وتمّ (et al., 2006).

اعتمدت هذه الدراسة على تقنية العناصر المنتهية لمقارنة تقنيات التثبيت المختلفة المستخدمة في تثبيت كسور عنق لقمة الفك السفلي.

## أهداف البحث: Aims of study

يهدف هذا البحث إلى:

1. تصميم نموذج محوسب ثلاثي البعد يحاكي الفك السفلي الطبيعي بخواصه المادية

وشروطه الحدية المختلفة، ومحاكاة كسر عنق لقمة في مستويات مختلفة وتثبيتها

بعدة تقنيات.

2. إجراء التحليل الميكانيكي للنماذج ذات التقنيات المختلفة في التثبيت باستخدام تقنية

العناصر المنتهية لحساب الإجهادات والانفعالات والانزياحات الحاصلة، ومقارنة

النتائج النهائية فيما بينها.

الباب الأول:

# المراجعة النظرية

## 1- الباب الأول: المراجعة النظرية

### 1-1- لمحة تشريحية

#### 1-1-1- الفك السفلي

يعتبر عظم الفك السفلي من عظام الوجه وهو أكبرها وأقواها، وهو العظم الوحيد المتحرك في الجمجمة ويتميز بمفصله المضاعف الذي يربطه مع العظم الصدغي، ومن خلال هذا المفصل تحدث الحركات المختلفة للفك السفلي ومن بينها الإطباق ( James L. Hiatt, 2010, Snell, 2012).

يتألف الفك السفلي من جسم وشعبتين صاعدتين في الجانبين تسمى كل منهما الرأد، يتوضع جسم الفك السفلي بشكل أفقي وله شكل مقوس ويتألف من سطحين: خارجي وداخلي، وحافتين: علوية -تضم الأسنان الدائمة الـ 16- وأخرى سفلية، من المعالم التشريحية التي تلاحظ على السطح الخارجي لجسم الفك السفلي الثقب الذقني التي تتوضع أسفل الضاحك الثاني في كل جانب (Snell, 2012).

يتوضع الرأد إلى الخلف من جسم الفك السفلي بشكل عمودي، وتتشكل زاوية من التقاء حافة الرأد الخلفية مع النهاية الخلفية لقاعدة الفك السفلي وهي ما تسمى بزاوية الفك السفلي، كما يتألف الرأد من سطحين (خارجي وداخلي) ونتوئين على الحافة العلوية (أمامي ويسمى الناتئ المنقاري Coronoid Process وخلفي وهو الناتئ اللقمي Condylar)، تسمى المنطقة بين النتوئين التي تأخذ الشكل المقوس بثلمة الفك السفلي (الثلمة السينية) Mandibular notch.

يلاحظ على الوجه الخارجي للرأد انخفاضات وأحاديث tuberosities هي مكان ارتباط العضلة الماضغة، بينما على الوجه الداخلي يوجد ثقبية تسمى ثقبية الفك السفلي التي تحاط من الأمام بامتداد عظمي حاد وهو ما يسمى باللسينة Lingula تتجه ذروتها الحرة إلى الخلف والأعلى باتجاه اللقمة، إلى الأسفل منها يوجد التلم الضرسى اللامي الذي يبدأ من ثقبية الفك السفلي ويتجه إلى الأمام والأسفل.

يوجد عند زاوية الفك وإلى الخلف من التلم الضرسى اللامي منطقة ذات مظهر خشن craggy appearance وهي مكان ارتكاز العضلة الجناحية الأنسية.

يأخذ الناتئ المنقاري شكلاً مثلثياً مسطحاً ويتلقى أليافاً من العضلة الصدغية، وتتدخل هذه الألياف أيضاً في السطح الداخلي للحافة الأمامية للرأد.

أما الناتئ اللقمي فيأخذ شكلاً عريضاً في الأعلى ليعطي سطحاً يتمفصل مع العظم الصدغي، يوجد إلى الأسفل من هذا النتوء منطقة تضيق هي ما تسمى عنق لقمة الفك السفلي condylar neck والتي تتلقى أليافاً من العضلة الجناحية الوحشية في ناحيتها الأنسية ضمن انخفاض صغير يسمى النقرة الجناحية pterygoid fovea (Snell, 2010, James L. Hiatt, 2012).

الجدول (1-1) يوضح عمل ومنشأ ومرتكز كل من العضلات الماضغة (انظر الشكل 1-1 للتوضيح).



## 1-2- كسور لقمة الفك السفلي

### 1-2-1- انتشار كسور اللقمة

إن 65% - 70% من مرضى الكسور الفكوية الوجهية يكون لديهم كسر في الفك السفلي، ونصف هذه الحالات يكون الكسر في الفك السفلي وحده ، قد يعلّل هذا الارتفاع في معدّل الإصابة بموقع الفك التشريحي المعرّض للإصابة بالأذنيات الرضوية أكثر من غيره (Kleinheinz and Meyer, 2009d).

وجد Ellis وزملاؤه أن معدّل الإصابة بكسور الفك السفلي أكثر بمعدل الضعف من معدّل الإصابة بكسور الوجه المتوسط ( Kleinheinz and Meyer, 2009d, Ellis E 3rd., ) (1985).

أما بالنسبة لكسور اللقمة فالملاحظ أن تواتر الإصابة بهذه الكسور يرتفع مع تقدّم الزمن، إذ كانت معدلات الإصابة بهذه الكسور نادرة قبل الحرب العالمية الأولى (أقل من 10% من بين كسور الفك السفلي) بينما ارتفعت هذه النسبة إلى أن وصلت إلى 17,5% - 52% في بداية الألفية الجديدة، قد يكون بسبب انتشار رضوض الرياضات وحوادث المرور أو ربما بسبب توافر مراكز وطرق التصوير الشعاعية الحديثة وتحسّن اكتشاف وتشخيص الكسور من خلالها (Kleinheinz and Meyer, 2009d, Zachariades et al., 2006).

وأظهرت الدراسات نتائج متفاوتة حول معدل انتشار كسور اللقمة، ففي دراسة Boole وزملائه والتي أجريت على الجنود الفاعلين كانت نسبة كسور اللقمة بشكل عام 23,3% من بين 5196 كسر للفك السفلي، وكسور عنق لقمة 14,2% أي ثلثي حالات كسور اللقمة (Boole JR, 2001).

في كثير من الدراسات تبين أن ثلثي حالات الإصابة بكسور اللقمة تكون أحادية الجانب والثلث الباقي للحالات ثنائية الجانب (Zachariades N, 2006).

مما سبق يتبين أن كسور لقمة الفك السفلي من الحوادث المتكررة في مجال رضوض الوجه والفكين (Kleinheinz and Meyer, 2009d) (الجدول 1-2).

جدول (1-2): دراسات مختلفة حول نسبة كسور لقمة الفك السفلي في مناطق مختلفة (Kleinheinz and Meyer, 2009d).

| الباحث            | سنة النشر | منطقة الدراسة     | مدة الدراسة | عدد كسور الفك السفلي | كسور اللقمة / كسور الفك |
|-------------------|-----------|-------------------|-------------|----------------------|-------------------------|
| Rocton وزملاؤه    | 2007      | فرنسا             | 1998-2000   | 563                  | 32.0%                   |
| Li وزملاؤه        | 2006      | الصين             | 1955-2001   | 2024                 | 20.5%                   |
| Oikarinen وزملاؤه | 2005      | الكويت            | 1991-2000   | 596                  | 27.2%                   |
| Oikarinen وزملاؤه | 2005      | كندا              | 1995-2000   | 228                  | 59.6%                   |
| Oikarinen وزملاؤه | 2005      | فنلندا            | 1990-1999   | 268                  | 53.4%                   |
| Ortakoglu وزملاؤه | 2004      | تركيا             | 1994-1999   | 161                  | 26.1%                   |
| Al Ahmed وزملاؤه  | 2004      | الإمارات          | 1999-2002   | 150                  | 25.0%                   |
| Motamedi          | 2003      | إيران             | 1996-2001   | 173                  | 32.0%                   |
| Boole وزملاؤه     | 2001      | أمريكا            | 1980-1998   | 5196                 | 23.3%                   |
| Haug وزملاؤه      | 2001      | كليفيلند (أمريكا) | سنة واحدة   | 165                  | 30.3%                   |
| Wong              | 2000      | سنغافورا          | 1995-1998   | 123                  | 26.0%                   |
| Marker وزملاؤه    | 2000      | الدنمارك          | 1984-1996   | 1195                 | 41.2%                   |
| Oji               | 1999      | نيجيريا           | 1985-1995   | 661                  | 26.0%                   |
| Strom C وزملاؤه   | 1996      | السويد            | 1978-1980   | 904                  | 35.0%                   |
| Strom C وزملاؤه   | 1996      | السويد            | 1988-1990   | 716                  | 29.0%                   |
| Silvennoinen      | 1992      | فنلندا            | 1987-1989   | 845                  | 52.4%                   |
| Fridich           | 1992      | أبوا (أمريكا)     | 1979-1989   | 1515                 | 26.0%                   |
| Tvetaras وزملاؤه  | 1990      | الدنمارك          | 1982-1986   | 536                  | 41.4%                   |

#### 1-2-2- أسباب كسور اللقمة

تتعدد العوامل التي تلعب دوراً أساسياً في تحديد سبب الإصابة بكسور لقمة الفك السفلي، ومن ذلك: الجنس، العمر، العوامل الاجتماعية والجغرافية والاقتصادية إضافة للحجم السكاني والكثافة السكانية ونوعية المواصلات والتنقلات (Kleinheinz and Meyer, 2009d, Ellis E 3rd., 1985, Boole JR, 2001).

فعلى اعتبار الجنس لوحظ أن معدّل إصابة الذكور بكسور اللقمة كان أعلى من معدل إصابة الإناث، وذلك كما أظهرته العديد من الدراسات في مناطق جغرافية مختلفة، بعض الدراسات وجدت أنه في كل 4 حالات من كسور اللقمة يكون هناك 3 ذكور، دراسات أخرى وجدت أن النسبة كانت أكبر من ذلك إذ كانت بنسبة 8 ذكور إلى أنثى واحدة، ودراسات أخرى وجدت أن النسبة 11 ذكر إلى أنثى واحدة، وكان السبب الرئيس في إصابة الذكور هو الاعتداءات الشخصية أما الإناث فكان السبب الرئيس هو حوادث السقوط ( Ellis E 3rd., 1985, Thoren et al., 1997 ).

أما على اعتبار عامل العمر فأظهرت الدراسات أن أكثر من يصاب بكسور اللقمة هم الشريحة العمرية بين الـ 20 والـ 40 سنة، إذ أظهرت العديد من الدراسات أن 48% - 59% من كسور اللقمة تصيب هذه الشريحة العمرية ( Kleinheinz and Meyer, 2009d ).

ووفق ما قرره (Ellis E 3rd., 1985) أن كسور اللقمة كانت أكثر ما تشاهد عند الذكور في عمر بين الـ 20 والـ 30 سنة وأكثر ما تشاهد عند الإناث في عمر الـ 40 سنة.

وعلى اعتبار المناطق الجغرافية قامت العديد من الدراسات بتحديد السبب الرئيسي للإصابة بكسور اللقمة إلا أنها اختلفت في الأسباب وذلك لاختلاف العوامل فيما بين الأقاليم والمناطق كمعدّل البطالة وكثافة السكان ووسائل التنقل (الجدول 1-3).

فعلى سبيل المثال كان السبب الشائع في اليابان والأردن ونيجيريا والدنمارك وسنغافورة هو حوادث المرور، بينما كان السبب في الولايات المتحدة وفنلندا والسويد هو الاعتداءات الشخصية، ولوحظ أن السبب الشائع للإصابة في المجتمعات المتدنية اقتصادياً واجتماعياً هو العنف والاعتداءات (Abbas et al., 2003).

كذلك اختلفت الأسباب باختلاف الأزمان وذلك بحسب الظروف والتطورات الحاصلة، فكان السبب الشائع للإصابة في بداية القرن العشرين هو الطلق الناري، بينما اختلفت الأسباب فيما بعد (Kleinheinz and Meyer, 2009d).

جدول (1-3): يبين أسباب كسور لقمة الفك السفلي في أماكن جغرافية مختلفة (Kleinheinz and Meyer, 2009d).

| الباحث                            | البلد             | سنة النشر | عدد المرضى | نسبة ذكر/ أنثى | سبب الكسر  | نسبة ذكر/ أنثى | نسبة ذكر/ أنثى | نسبة ذكر/ أنثى    |
|-----------------------------------|-------------------|-----------|------------|----------------|------------|----------------|----------------|-------------------|
|                                   |                   |           |            |                | الاعتداءات | حوادث السير    | حوادث السقوط   | الإصابات الرياضية |
| <b>أوروبا</b>                     |                   |           |            |                |            |                |                |                   |
| Rocton وزملاؤه                    | فرنسا             | 2007      | 563        |                | 57.0%      | 12.0%          |                |                   |
| Zachariades                       | اليونان           | 2006      | 466        | 1/3.5          | 13.6%      | 56.5%          |                | 3.5%              |
| Oikarinen وزملاؤه                 | فنلندا            | 2005      | 268        | 1/2            |            |                |                |                   |
| Marker                            | الدنمارك          | 2000      | 348        | 1/2            | 21.8%      | 45.1%          | 24.7%          | 5.5%              |
| Silvennoinen                      | فنلندا            | 1992      | 443        |                | 43.7%      | 21.4%          | 28.8%          |                   |
| Tveteras وزملاؤه                  | الدنمارك          | 1990      | 348        |                | 37.3%      | 36.8%          |                |                   |
| <b>الولايات المتحدة الأمريكية</b> |                   |           |            |                |            |                |                |                   |
| Simsek                            | فيرجينيا (أمريكا) | 2007      | 665        | 1/3.2          | 53.7%      |                |                |                   |
| Oikarinen وزملاؤه                 | كندا              | 2005      | 228        | 1/8.7          |            |                |                |                   |
| Boole وزملاؤه                     | أمريكا            | 2001      | 5196       |                | 36.2%      | 24.7%          | 9.7%           | 18.6%             |
| Fridrich                          | أيووا (أمريكا)    | 1992      | 1515       | 1/3            | 50.0%      | 33.0%          |                |                   |
| Ellis                             | تكساس (أمريكا)    | 1985      | 2137       | 1/3            | 42.0%      | 16.4%          | 25.9%          | 4.8%              |
| <b>المنطقة العربية</b>            |                   |           |            |                |            |                |                |                   |
| Simsek                            | تركيا             | 2007      | 210        | 1/5.5          |            | 36.2%          |                |                   |
| Oikarinen وزملاؤه                 | الكويت            | 2005      | 596        | 1/6.4          |            |                |                |                   |
| Al Ahmed وزملاؤه                  | الإمارات          | 2004      | 150        | 1/11.1         | 8.0%       | 75.0%          | 12.0%          | 2.6%              |
| Abbas                             | باكستان           | 2003      | 126        | 1/9            |            | 56.0%          |                |                   |
| Motamedi                          | إيران             | 2003      | 173        | 1/8.1          | 9.7%       | 54.0%          | 20.3%          | 6.3%              |
| <b>آسيا وأفريقيا</b>              |                   |           |            |                |            |                |                |                   |
| Li وزملاؤه                        | الصين             | 2006      | 2024       | 1/4.3          | 15.8%      | 30.6%          | 21.4%          |                   |
| Wong                              | سنغافور           | 2000      | 123        | 1/7.8          |            | 35.8%          |                |                   |
| Tay                               | سنغافور           | 1999      | 74         | 1/5.7          | 16.2%      | 48.6%          | 17.6%          |                   |
| Oji                               | نيجيريا           | 1999      | 900        | 1/3            | 8.4%       | 83.0%          | 4.0%           | 4.3%              |

قام (Ellis E 3rd., 1985) بتحديد هذه الأسباب كالتالي: الاعتداءات ثم حالات السقوط

ثم حوادث السيارات ثم حوادث الدراجات ثم رضوض الألعاب الرياضية.

أما (Sawazaki et al., 2010) فقد وجد أن اليافعين هم من يُصاب بكسور اللقمة

المسببة بحوادث السير وهي السبب الرئيسي لكسور لقمة الفك السفلي، ونفس النتيجة وجدها

قبله (Marker et al., 2000a)، بينما وجد (Rocton et al., 2007) أن الاعتداءات

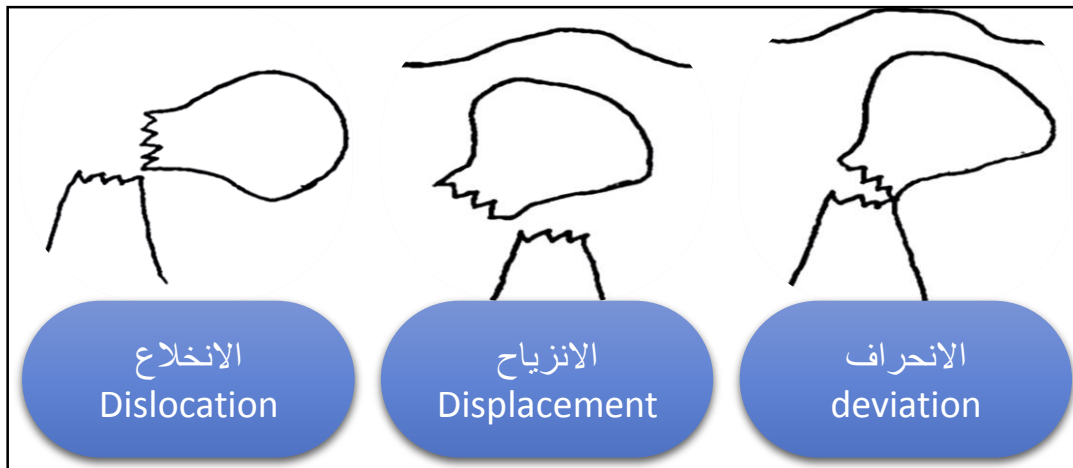
هي السبب الأول.

هناك العديد من أنظمة تصنيف كسور لقمة الفك السفلي والدراسات تقوم بدراسة هذه الأنظمة من حيث جدواها واعتباراتها السريرية.

وتهدف الدراسات للوصول إلى نظام التصنيف المثالي الذي يجب أن يكون:

- بسيط الفهم ومريح في الاستخدام.
- يساعد الطبيب على اختيار المعالجة المناسبة.
- ذو فائدة سريرية.
- يصنف جميع رضوض اللقمة.
- يساعد في معرفة إنذار المعالجة.
- يميّز بين الكسور باعتبار موقعها التشريحي ومستواها بالنسبة للقمة.
- يأخذ بعين الاعتبار كلّ من الانزياح والانخلع.

ويمكن أن نميّز في كسور اللقمة بين عدة مصطلحات: الانحراف **Deviation** وهو يشير إلى تزوي الجزء اللقمي مع بقاء التماس بين الجزئين، والانزياح **Displacement** ويشير إلى حدوث انزياح للجزء اللقمي دون تماس بين الجزئين واللقمة ما زالت في الجوف العنابي، والانخلع **Dislocation** ويعني خروج اللقمة من الجوف العنابي ( Kang-Young Choi, 2012 ) (الشكل 1-2).



الشكل (1-2): الانحراف والانزياح والانخلع (Kang-Young Choi, 2012)

ومن أهم وأشيع الأنظمة المستخدمة لتصنيف كسور لقمة الفك السفلي:

• 1-3-2-1- تصنيف (Wassmund, 1927):

ميّز ما بين كسور رأس وعنق اللقمة بغض النظر عن الانزياح أو الانخلاع:

- كسر عمودي بسبب قوى القصّ.
- كسر مستعرض بسبب قوى الليّ.
- كسر مائل بسبب مشترك بين قوى القصّ والليّ.

• 2-3-2-1- تصنيف (Wassmund, 1934):

قام بتقسيم الكسور ذات الانخلاع إلى ثلاثة أنماط:

- النمط (I): كسر عنق وانخلاع جزئي وتزوي  $10^\circ - 40^\circ$  وتماس قطعتي الكسر.
- النمط (II): تزوي  $50^\circ - 90^\circ$  وتماس بسيط بين جزئي الكسر.
- النمط (III): انزياح أنسي شديد ولا يوجد تماس بين جزئي الكسر.

• 3-3-2-1- تصنيف (MacLennan, 1952):

اعتبر الموقع التشريحي وتوضع رأس اللقمة في الحفرة المفصليّة وعلاقة جزئي الكسر مع بعضهما البعض:

- كسر عنق لقمة منخفض: يبدأ بالثلثة السينية ويتّجه للخلف والأسفل بشكل مائل.
- كسر عنق لقمة مرتفع: يبدأ من مستوى أعلى من الثلثة السينية ويشمل عنق اللقمة.
- كسر تحت لقمي: وبشكل مائل على الحافة الخلفية للرأس.
- كسر مع انخلاع تام وخروج اللقمة من الجوف المفصلي.

وصنّف الكسور أيضاً بحسب الانحراف والانزياح) والانخلاع فقام بوضع أربعة أصناف:

- |                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| الصنف (I) كسر دون انحراف. | الصنف (III) كسر مع انزياح. |
| الصنف (II) كسر مع انحراف. | الصنف (IV) كسر مع انخلاع.  |

• 1-2-3-4- تصنيف (Rowe and Killey, 1955):

وهو تصنيف بسيط حيث يعتمد على حالة المحفظة والبنى المحيطة بالمفصل الفكي الصدغي:

- كسور داخل المحفظة.
- كسور خارج المحفظة.
- كسور مترافقة مع تأذي المحفظة أو الأربطة أو العظام المحيطة بالمفصل.

• 1-2-3-5- تصنيف (Dingman and Natving, 1964):

يعتمد هذا التصنيف على مكان ارتكاز العضلة الجناحية الوحشية:

كسر عنق لقمة مرتفع: عند أو أعلى من مكان ارتكاز العضلة.

كسر عنق لقمة متوسط: أسفل من مكان ارتكاز العضلة.

كسر عنق لقمة منخفض: عند قاعدة الناتئ اللقي من الثلمة السينية إلى الحافة الخلفية.

• 1-2-3-6- تصنيف (Spiessl and Schroll, 1972):

وهو من أشيع التصنيفات وأكثرها استخداماً، يميّز بين كسور القاعدة والعنق ويميّز بين

الانحراف والانزياح والانخلاع (الشكل 1-3):

النمط (I): كسر عنق لقمة بدون انحراف أو انزياح.

النمط (II): كسر عنق لقمة منخفض مع انحراف أو انزياح.

النمط (III): كسر عنق لقمة مرتفع مع انحراف أو انزياح.

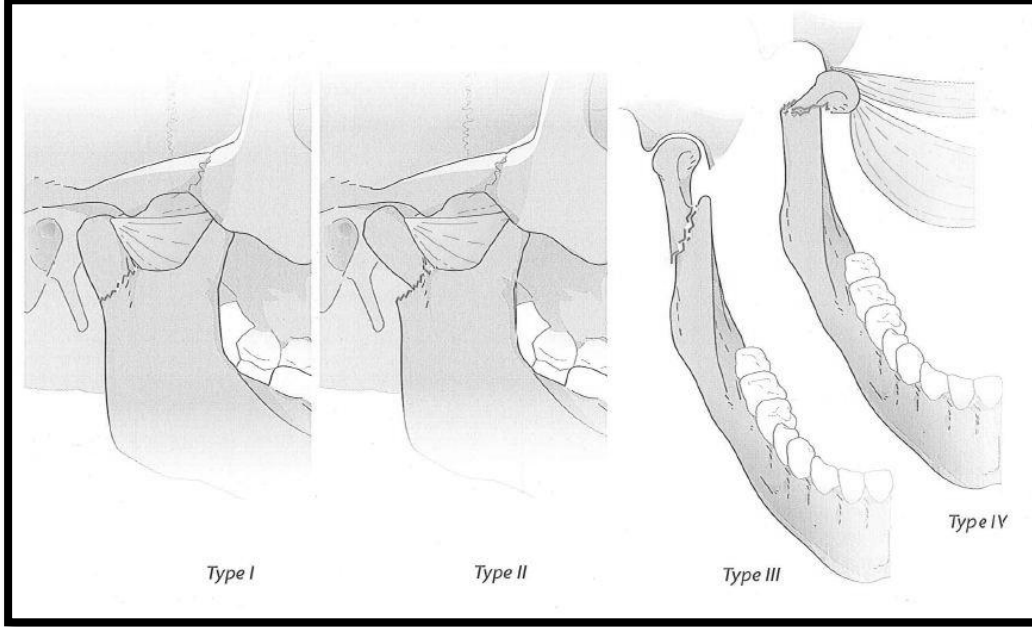
النمط (IV): كسر عنق لقمة منخفض مع انخلاع.

النمط (V): كسر عنق لقمة مرتفع مع انخلاع.

النمط (VI): كسر داخل المحفظة.

والنمط (III) له أربعة أشكال بحسب اتجاه الانحراف والانزياح وهي كسر:

(IIIa): أمامي (IIIb): أنسي (IIIc): وحشي (IIId): خلفي



الشكل (3-1): تصنيف كسور لقمة الفك السفلي بحسب (Spiessl و Schroll) (Kleinheinz and Meyer, 2009d).

#### • 1-2-3-7- تصنيف (Lindahl, 1977):

وهو تصنيف معقد يعتمد على مستوى الكسر والانحراف أو الانزياح ومكان رأس اللقمة داخل الحفرة العنابية:

##### 1- بحسب مستوى الكسر:

a- كسر رأس اللقمة (عند مستوى ارتباط المحفظة أو فوقه).

b- كسر عنق اللقمة (أسفل الرأس).

c- كسر أسفل اللقمة أو قاعدة اللقمة.

##### 2- بحسب الانحراف أو الانزياح:

a- انحراف مع تراكب أنسي للجزيئين.

b- انحراف مع تراكب وحشي للجزيئين.

c- انحراف بلا تراكب.

d- كسر بلا انحراف ولا انزياح

- 3- مكان الرأس من الجوف العنابي: 4- كسور رأس اللقمة:
- a- كسر بلا انخلاع. a- أفقي.
- b- انخلاع بسيط. b- عمودي.
- c- انخلاع متوسط. c- كسر منضغط أو منحشر.
- d- انخلاع شديد أو كامل.

• 1-2-3-8- تصنيف (Krenkel, 1997):

- كسر عنق لقمة مرتفع: يتوضع الكسر بين الربع العلوي والثالث العلوي من الرأء.
  - كسر عنق لقمة متوسط: يتوضع الكسر بين الثالث العلوي والنصف العلوي من الرأء.
  - كسر عنق لقمة منخفض: يتوضع الكسر بين النصف السفلي للرأء وزاوية الفك السفلي.
- ويختلف هذا التصنيف عن باقي التصنيفات في الصنف الأخير حيث يعتبر من كسور الرأء.

• 1-2-3-9- تصنيف (Ellis et al., 1999):

يشابه تصنيف (Lindahl) حيث ميّز بين:

- كسر رأس اللقمة: داخل المحفظة.
- كسر عنق اللقمة: متوضع أسفل من الرأس وأعلى من أخفض نقطة في الثلثة السينية.
- كسر قاعدة اللقمة: أسفل من أخفض نقطة في الثلثة السينية.

وميّز هذا التصنيف أيضاً بين الحالات التالية بحسب الانخلاع:

- كسر مع تواضع صحيح للرأس (لا انخلاع على الصورة الشعاعية).
- انخلاع بسيط (الجزء الأكبر من الرأس ضمن الحفرة المفصلية) مع التزوي  $> 20^\circ$ .
- انخلاع شديد (الرأس عند الحدة المفصلية أو إلى الأمام منها) مع تزوي  $< 20^\circ$ .

• 1-2-3-10- تصنيف (Neff et al., 1999):

قام بإضافة تفرعات على تصنيف (Schroll و Spiessl) في النمطين (V و VI) كما يلي:  
النمط (A): أي (VIa) كسر في الجزء الأنسي من الرأس مع ثبات البعد العمودي والكسر مدعوم.

النمط (B): أي (VIb) كسر في الجزء الوحشي من الرأس (وإصابة الرباط الوحشي) مع انخفاض في البعد العمودي والكسر هنا غير مدعوم.

النمط (C): أي (V) حيث يصاب الوجه المفصلي للرأس بالكامل مع انخلاع اللقمة خارج الحفرة المفصلية.

• 1-2-3-11- تصنيف (Hlawitschka and Eckelt, 2002):

قام بإضافة النمط التالي:

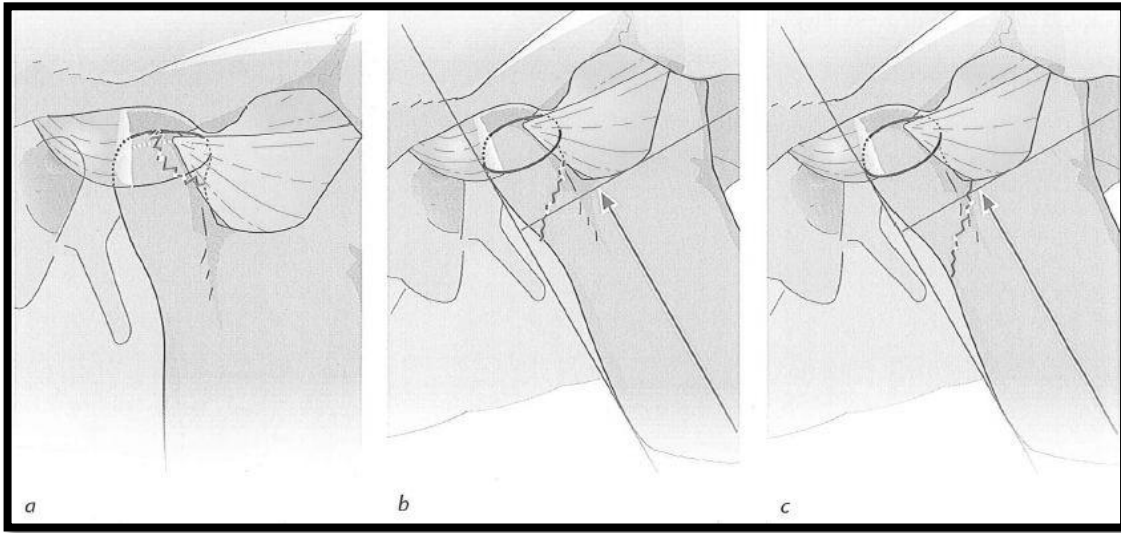
النمط (M): كسر متفتت أو متعدد مع انخفاض البعد العمودي وتقلص الكسر الغير مدعوم.

• 1-2-3-12- تصنيف (Loukota et al., 2005):

وهو التصنيف المعتمد في S.O.R.G ويهدف هذا التصنيف إلى تحسين القدرة على إعادة أخذ القياسات، وذلك من خلال تحديد خط الثلمة السينية الممتد من الثلمة السينية إلى الخط المماس للحافة الخلفية للرأد والعمودي عليه، حيث يميّز الأصناف التالية (الشكل 1-4):

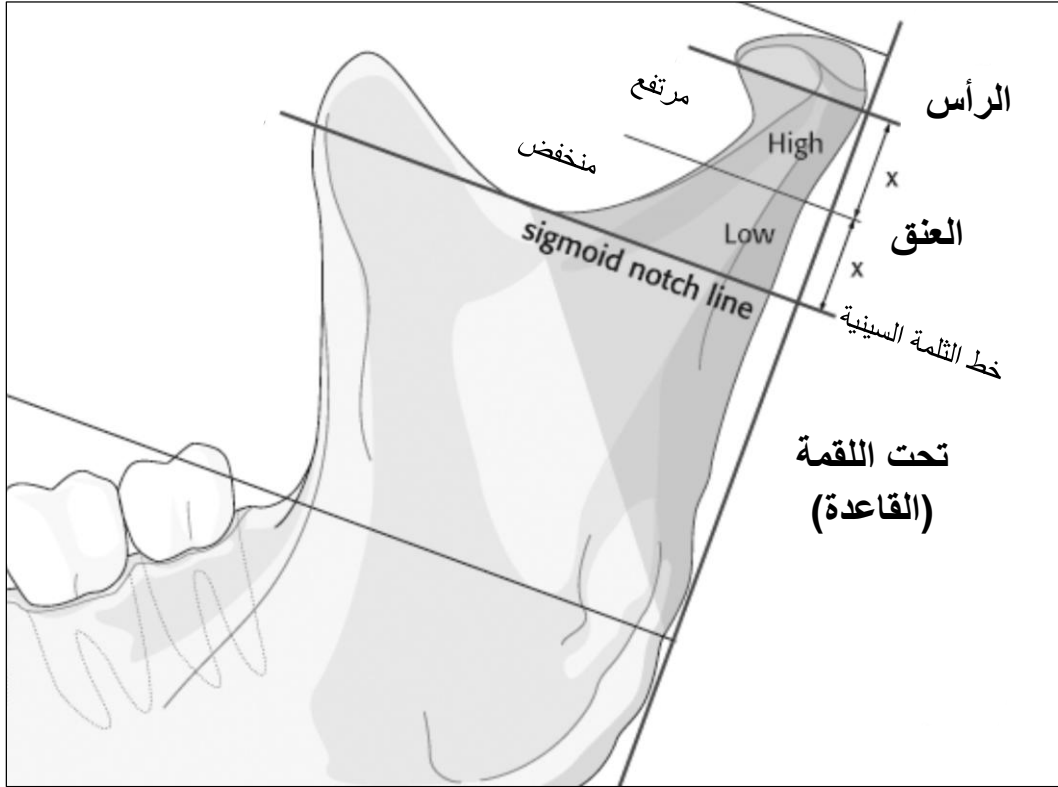
- a- كسر داخل المحفظة: يبدأ من السطح المفصلي وقد يمتد إلى خارج المحفظة.
- b- كسر عنق اللقمة: يبدأ الكسر من نقطة أعلى من خط الثلمة السينية من الناحية الأمامية ويبقى الكسر أعلى الخط إلى أكثر من نصف طول الكسر.
- c- كسر قاعدة اللقمة: يبدأ من منطقة خلف ثقب الفك السفلي ويسير للخلف ويكون أكثر من نصفه تحت خط الثلمة السينية.

بالخلاصة يرد علينا السؤال التالي: أي الأنظمة السابقة يمكن اعتباره الأكثر فعالية والأفضل حتى الآن؟ والجواب على هذا السؤال: أنه لا يوجد نظام تصنيف يمكن أن يعتبر هو التصنيف الذهبي من بين السابقة وإنما يعتمد ذلك على المعلومات التي نريد أن نحصل عليها من التصنيف والخطوات التي تتعلق به.



الشكل (1-4): تصنيف كسور لقمة الفك السفلي بحسب (Loukota et al., 2005).

ويمكن اعتبار الكسور ثلاثة أقسام وذلك لتسهيل التعامل مع التصنيف عملياً وهي: كسور الرأس وكسور العنق وكسور القاعدة (أو تحت اللقمة)، الشكل (1-5) يوضح هذه التفاصيل إضافة لتقسيم كسور عنق اللقمة إلى قسم منخفض وآخر مرتفع ويكون الكسر المتوسط بينهما (Cenzi et al., 2009).



الشكل (1-5): كسور لقمة الفك السفلي (الرأس والعنق والقاعدة) (Cienfuegos et al., 2008)

يعود أول منشور علمي حول معالجة كسور اللقمة إلى أكثر من 200 سنة، وعند دراسة تطور مفاهيم معالجة كسور اللقمة نجد أن تطورها مرتبط بتطور مفاهيم الطب العام (Kleinheinz and Meyer, 2009a).

بدأ استخدام التصوير الشعاعي لتصوير كسور اللقمة في نهاية القرن التاسع عشر ومن خلالها أمكن تقييم وضع وموقع الكسر وبالتالي الحصول على أهم المعلومات لوضع الخطة العلاجية خاصة الجراحية منها ( Kleinheinz and Meyer, 2009a, Roentgen, 1896)، وفي الآونة الأخيرة قد تطور علم التصوير الشعاعي ليسهل عملية التشخيص والمعالجة (Tsiklakis et al., 2004, Choudhary et al., 2011).

لا يمكن أن يتم إجراء معاجة جراحية إلا إذا أمكننا السيطرة على الألم، وهذه النقلة النوعية أصبحت ممكنة بعد أن تمّ تصنيع المخدرات الموضعية (البروكائين) عام 1905 من قبل الباحث (Einhorn) (Kleinheinz and Meyer, 2009a).

كانت المعالجات قبل تصنيع البروكائين معتمدة على الردّ المغلق من خلال تصحيح وضعية القطعة الحاملة للأسنان وتثبيتها بجبيرة مع الفك العلوي والانتظار إلى أن يلتحم الكسر، أما القطعة الصغيرة من الكسر فكانت كثيراً ما تنزاح أو تتخلع ( Kleinheinz and Meyer, 2009a).

تمّ إجراء أول عملية جراحية على اللقمة في عام 1924 من قبل الجراح (Perthes)، واستخدمت أول صفيحة لتثبيت كسر اللقمة عام 1927 من قبل (Wassmund) (Kleinheinz and Meyer, 2009a, Wassmund, 1927).

وحتى ذلك الوقت لم تكن الصادات الحيوية موجودة التي يتم إعطاؤها لمنع حدوث الالتهابات الإنتانية التالية للعملية الجراحية أو التمثوت الذي يحصل في منطقة اللقمة، لذلك من غير المفاجئ أن يكون الرأي السائد عند الجراحين في تلك الفترة أن يتم تثبيت الفكين حتى يحدث الشفاء من خلال النسيج الضام (وإن كانت المنطقة معيبة) ومن ثم إجراء المعالجة الوظيفية المبكرة واعتبروا هذا أفضل من المعالجة الجراحية، وبقيت المعالجة بالردّ المغلق هي السائدة إلى الخمسينيات من القرن العشرين ( Kleinheinz and Meyer, 2009a, Miles et al., 2006).

لم تكن طرق التثبيت المتوفرة في تلك الآونة تعطي استقراراً كافياً للكسر كالتثبيت بالأسلاك لذلك كان لا بد في أغلب الحالات أن يطبق التثبيت بين الفك بعد الجراحة لمدة 6 أسابيع لتجنب نكس الحالة. وهذا أدى لتطور العيوب والندبات حول المفصل الفكوي وبالتالي تحدّد حركة الفك السفلي فيما بعد (Kleinheinz and Meyer, 2009a).

بعد ذلك جاء الحدث الهامّ في تطوّر الجراحة وهو اكتشاف (البنسيلين) حيث استخدم لأول مرة في عام 1941 من قبل (Fleming) (Fleming, 1950)، وفي نفس الوقت كانت الجهود متوجّهة لتحسين استقرار المثبتات المستخدمة فتمّ وضع تقنية (Kirschner wire) ومن ثمّ تمّ تعديلها، وبعد ذلك وضعت تقنية التثبيت بالأسلاك والدبابيس خارج الفموية (Kleinheinz and Meyer, 2009a, Thoma, 1954).

تطوّر علم الرضوض فيما بعد من خلال تقديم مبدأ التثبيت الوظيفي المستقر Functionally stable osteosynthesis، وتمّ الاستفادة من هذا المبدأ في معالجة كسور المفصل في الستينيات، وهذا المبدأ حقّق المطلبين الأساسيين لمعالجة كسور اللقمة وهما: إعادة أجزاء الكسر إلى مكانها وتحريك المفصل لاستعادة الوظيفة (Schenk and Willenegger, 1963, Kleinheinz and Meyer, 2009a).

واستخدمت الصفائح الصغيرة لأول مرة في تثبيت كسور اللقمة في الستينيات وتم وضع تقنية براغي لاغ (Eckelt and Hlawitschka, 1999).

كما أن لتطور علم التخيدير دوراً كبيراً في تطور الجراحة، إذ أصبح بالإمكان إجراء عمليات جراحية طويلة على المفصل بعد أن تم تطوير التخيدير من خلال الرغامي (Kleinheinz and Meyer, 2009a).

ومنذ ذلك الحين والصفائح الصغيرة وبراغي لاغ هي المستخدمة لمعالجة كسور عنق وقاعدة لقمة الفك السفلي (Neff et al., 2004)، وأخذت الدراسات تبحث عن أفضل تقنيات التثبيت لمعالجة كسور الفك بشكل عام وكسور اللقمة بشكل خاص (Hakim et al., 2014, Luo et al., 2010, Pilling et al., 2011).

ومع ذلك بقيت المعالجة الجراحية لكسور اللقمة تشكل تحدياً كبيراً وذلك بسبب صعوبة الحصول على التثبيت المستقر من خلال مدخل آمن، وجميع المداخل الجراحية التي تستخدم اليوم ليست إلا تعديلات على المداخل التي وضعت قبل 85 سنة، إلا أن هذه المداخل الجراحية أثبتت قلة اختلاطاتها مقارنة بالمداخل الجراحية القديمة (خارج الفموية) (Tang et al., 2009, Manisali et al., 2003, Giroto et al., 2012, Klatt et al., 2010)، إضافة للمداخل داخل الفموية (Jensen et al., 2006).

ومنذ أكثر من 85 سنة والجدال قائم حول المعالجة بالرد المفتوح أم بالرد المغلق، فمن أيّد الرد المغلق احتج بأن اختلاطاتها أقل من نظيرتها وهذا يغني عن التعرض للأذيات الجراحية كإصابة العصب الوجهي وبالتالي نتائج أفضل (Marker et al., 2000b, Landes et al., 2007, Andersson et al., 2008)، أما من أيّد الرد المفتوح فاحتج بأن تحقيق النتائج الوظيفية الجيدة لا يكون إلا بإعادة القطع المكسورة إلى مكانها الصحيح (Stiesch-Scholz et al., 2005, Throckmorton et al., 2004, Palmieri et al., 1999).

ومع الوقت تبيّنت كثرة اختلاطات المعالجة المغلقة (كالالتصاق والألم المزمن) وأصبح لا بدّ من التوجّه إلى المعالجة بالردّ المفتوح.

وأظهرت التحريّيات أن المرضى المعالجين بالطريقة الجراحية كانت معاناتهم وآلامهم المزمنة أقلّ من أولئك المعالجين بالطريقة المحافظة (Eckelt and Hlawitschka, 1999, Yang et al., 2002, Vesnaver et al., 2012, Takenoshita et al., 1990, Lima et al., 2011), وأن الاختلاطات الدائمة بعد المعالجة الجراحية نادرة (Singh et al., 2010).

ويمكن أن نذكر من محاسن الردّ المفتوح أنّه يؤمّن استقرار الكسر والفك السفلي بشكل مبكّر (Chen et al., 2011)، وبالتالي تخفيف الآلام على منطقة المفصل على المدى البعيد.

أما مساوئها فهي الندبة وخطورة أذية العصب الوجهي إذ تتراوح نسبة إصابة العصب الوجهي بحسب المدخل الجراحي من 0% إلى 30% (Vogt et al., 2005, Hammer et al., 1997) والخبرة العالية التي على الجراح أن يمتلكها لمعالجة هذه الكسور جراحياً إضافة للأدوات الجراحية التي يجب أن تكون ممتازة. ولا بد لكل جراح يقوم بمعالجة كسور اللقمة أن يكون مطلعاً على أحدث التقنيات المستخدمة لتثبيت هذه الكسور (Defabianis, 2003).

وفي الآونة الأخيرة أصبح بالإمكان إجراء المعالجات الجراحية على اللقمة باستخدام المنظار (Pitak-Arnnp et al., 2010, Haug and Brandt, 2007)، وهذا التطوّر قد أعطى بعداً جديداً لمعالجة كسور لقمة الفك السفلي وقُلّ الكثير من الاختلاطات التي كانت تشاهد في حالات الجراحة التقليدية (Schon et al., 2003, Lauer et al., 2007b, Kang et al., 2012, Qiu et al., 2010, Haug and Brandt, 2004).

### 1-2-5- المعالجة الجراحية لكسور لقمة الفك السفلي

تؤثر عدة عوامل في اختيار طريقة المعالجة لكسور لقمة الفك السفلي (جراحية أم محافظة) منها عمر المريض ووضعه الصحي (Park et al., 2010) ونوع الكسر -داخل أو خارج المحفظة- ومقدار انزياح الجزء اللقي (Valiati et al., 2008)، وتستخدم المعالجة الجراحية عندما تكون المعالجة المحافظة غير ملائمة.

وتستطب المعالجة الجراحية في الحالات التي لا يمكن فيها ضمان استعادة البعد العمودي للرأد أو استعادة الإطباق الطبيعي (Schneider et al., 2007)، هذه الحالات هي التي يحدث فيها انخلاع للقمة (dislocation) (أحادي أو ثنائي الجانب)، حيث تؤدي هذه الكسور إلى تبدل في الإطباق ولا يؤدي التثبيت بين الفكي في هذه الحالة إلى نتائج مرضية غالباً، كما تستطب المعالجة الجراحية عند وجود أحد المشاكل الوظيفية، أو قصر في طول الرأد 2 مم أو أكثر (Smets et al., 2003, Schneider et al., 2008)

ويمكن تقسيم المشاكل الوظيفية كما يلي (Kleinheinz and Meyer, 2009c):

#### • المشاكل الوظيفية المترافقة مع كسر عنق اللقمة أحادي الجانب:

1- تحدد فتحة الفم.

2- انحراف الفك لجهة الإصابة عند الفتح.

3- انحراف الفك لجهة الإصابة عند تقديم الفك.

4- تحدد الحركة الجانبية عكس جهة الإصابة.

#### • المشاكل الوظيفية المترافقة مع كسر عنق اللقمة ثنائي الجانب:

1- تحدد فتحة الفم.

2- تحدد حركة تقدم الفك.

3- تحدد انحراف الفك ثنائي الجانب.

ويمكن تقسيم استطبابات المعالجة الجراحية إلى استطبابات مطلقة وأخرى نسبية (Kleinheinz and Meyer, 2009c):

• الاستطبابات المطلقة:

• الاستطبابات النسبية:

- انزياح اللقمة إلى الحفرة القحفية المتوسطة.
- استحالة استعادة الإطباق الجيد بالطريقة المحافظة.
- اندخال مواد أجنبية أو مواد ملوثة.
- انزياح وحشي خارج المحفظة.
- كسر ثنائي الجانب عند مرضى الدرد.
- كسر ثنائي الجانب مترافق مع كسر متفتت في الثلث المتوسط للوجه.
- الحالات المرضية التي تمنع التثبيت بين الفكي.

تهدف المعالجة الجراحية بشكل أساسي إلى إعادة الشكل التشريحي وتثبيتته باستخدام مثبتات مستقرة. ويتأثر استقرار المثبتات بالإجهادات التي تتشكل في منطقة اللقمة أثناء المضغ كنتيجة لتأثير العضلات على الفك السفلي (Kleinheinz and Meyer, 2009c).

أظهرت العديد من الدراسات أن قوى الشد والضغط تنشأ في منطقة لقمة الفك السفلي كنتيجة لعمل العضلات أثناء المضغ. ويُعتبر Throckmorton أول من قام بتحديد اتجاه وشدة هذه الإجهادات الأساسية التي تنشأ في سطوح النائي اللقمي الأربعة، حيث قام بإجراء دراسة مخبرية على فكوك سلفية بشرية (Throckmorton and Dechow, 1994). تتركز القيم المرتفعة لإجهادات الشد على السطحين الأمامي والوحشي بينما تتركز إجهادات الضغط على السطح الخلفي للقمة. في دراسة Meyer التي استخدم فيها اختبارات انتشار الضوء (Photoelastic analysis) وظهر أن هناك جهود ضغط على الحافة الخلفية للرأ و جهود شادة أسفل التلمة السينية وموازية لها (Meyer et al., 2002).

وكنتيجة لهذه الأبحاث كان لا بد من وضع مبادئ جديدة لمكان وضع الصفائح في منطقة اللقمة بحيث تكون قريبة من قوى الشد. وبالتالي تم إجراء دراسة لتحليل القوى الميكانيكية وذلك لاختبار التقنيات المختلفة باستخدام نماذج من العناصر المنتهية.

• 1-6-2-1- تقنية الصفيحة المستقيمة الوحيدة:

تعتبر أكثر التقنيات شيوعاً واستخداماً لتثبيت كسور عنق لقمة الفك السفلي إما بأربعة ثقوب أو بستة ثقوب، وتوضع بشكل يوازي محور عنق اللقمة ( Ellis et al., 2000, Haug )  
(and Assael, 2001, Undt et al., 1999, Hyde et al., 2002). قليل من دراسات الميكانيك الحيوي التي تدعم هذه التقنية ( Haug et al., 2002, Wagner et al., 2002 ) وبالمقابل الكثير من الأبحاث أثبتت ارتفاع نسبة فشلها (وصولاً إلى 35%) (2002 Sugiura et al., 2001, Rallis et al., 2003, Iizuka et al., 1991, Klotch )  
(and Lundy, 1991, Ellis and Dean, 1993)، وأثبتت التجربة العملية أن هذه التقنية لا تتحمل الإجهادات الناتجة مما أدى في كثير من الحالات إلى انكسار الصفيحة أو ارتخاء البراغي أو الانزياح اللاحق للجزء اللقمي. والسبب الرئيسي في هذا الفشل هو مكان الصفيحة الضعيف عند خطوط الإجهادات الضاغطة (Wagner A, 2002).

ومع الزمن أخذ الباحثون يؤيدون استخدام تقنية الصفيحتين بدلاً من تقنية الصفيحة الواحدة وذلك لأن الصفيحة الوحيدة لا تكفي لتقاوم جميع القوى الميكانيكية والفيزيولوجية الناتجة عن الإطباق تحديداً قوى الشد الأمامية الخلفية التي تؤدي لانزياح الجزء اللقمي (Parascandolo et al., 2010).

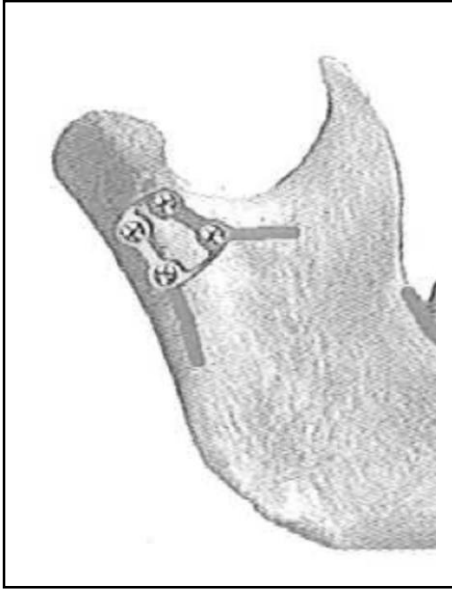
إن التعقيد في منطقة لقمة الفك السفلي ليس فقط بمجاورتها لنسج تشريحية هامة بل أيضاً أن المنطقة العظمية الصغيرة نسبياً (عنق اللقمة) ويتحمل إجهادات مرتفعة، وهذا ما يشكل تحدياً وظيفياً أمام مثبتات كسور اللقمة (Kleinheinz and Meyer, 2009c).

ونظراً لفشل تقنية الصفحة المستقيمة الوحيدة في تثبيت مثل هذه الكسور كان الاقتراح إما بزيادة ثخانة الصفحة أو جعل البراغي ثنائية القشرة أو إضافة صفحة ثانية .

ويمكن وصف هذه التقنية كما يلي: حيث يتم وضع الصفحة الخلفية بشكل موازي للمحور الطولي للقمة ذات أربعة براغي، تقوم هذه الصفحة بتأمين الرد التشريحي للكسر بشكل متوسط وبالتالي استعادة الارتفاع العمودي للرأد ومقاومة الإجهادات الضاغطة. أما الصفحة الثانية فتوضع بشكل مائل مسايرة لخطوط الشد التي توجد أسفل الثلمة السينية كما في مبدأ (Champy)، ويجب أن تثبت هذه الصفحة باستخدام برغي على الأقل في كل جانب، وتقوم الصفحة الثانية بحماية الأولى من خطورة الإجهادات المرتفعة التي قد تؤدي إلى انزياح لاحق في الجزء اللقمي (Parascandolo et al., 2010).

ويعتبر حالياً استخدام تقنية الصفحتين المتوضعتين بشكل صحيح هو الحل الأفضل لتثبيت كسور عنق اللقمة وذلك لتأمينها الاستقرار المطلوب. ونتائج الدراسات تؤكد تفضيل تقنية الصفحتين على الصفحة الواحدة (Wagner et al., 2002, Schon et al., 2003, Shinohara and Martini, 2006, Tominaga et al., 2006, Rallis et al., 2003, Choi et al., 2001, Hammer et al., 1997).

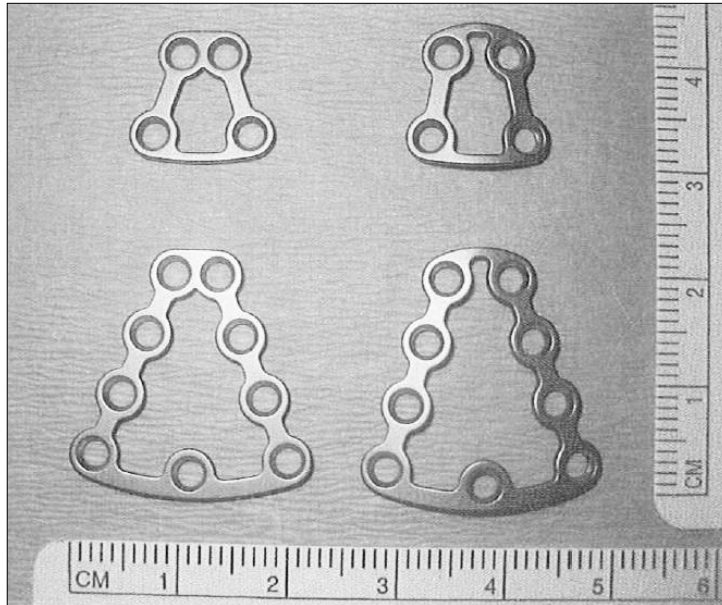
### • 1-2-6-3- الصفیحة شبه المنحرفة TCP:



صمّمت هذه الصفیحة لتثبيت كسور عنق اللقمة وخاصة المرتفعة منها وذلك لصعوبة وضع صفيحتين في مثل هذه المنطقة التشريحية الضيقة. تستخدم هذه الصفائح في الكسور تحت اللقمة، ميّزتها أنّ لها شكل شبه منحرف وبذلك تكون متناسبة من ناحية الميكانيك الحيوي مع خطوط قوى الشد (التي تمر بشكل مائل تحت الثلثة السينية) حيث يتوضع الذراع الأمامي للصفیحة بشكل دقيق على هذه الخطوط (الشكل 6-1)

(Meyer et al., 2007). الشكل (6-1): مسابرة الصفیحة TCP لقوى الشد (Meyer et al., 2007)

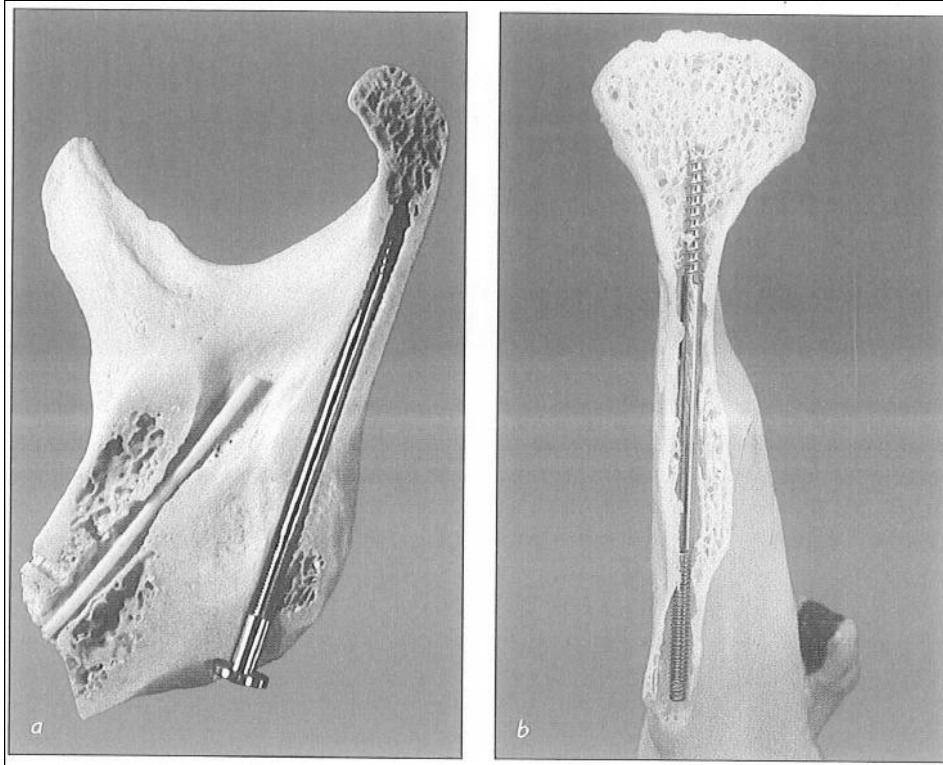
تعتبر هذه الصفائح من عائلة الصفائح ثلاثية الأبعاد 3-D Plate وذلك بسبب الشكل الشبكي لها grid form، وهي متوفرة بأحجام مختلفة (أربعة ثقوب وتسعة ثقوب) لتلائم كسور عنق اللقمة المرتفعة والمنخفضة وكذلك لتلائم الفروقات التشريحية بين اللقم (الشكل 7-1) (Trost et al., 2009).



الشكل (7-1): أشكال وقياسات الصفیحة شبه المنحرفة (TCP) (Meyer et al., 2007)

تطورت هذه التقنية لتحقيق شئئين أساسيين وهما تحقيق الاستقرار الوظيفي للكسر إضافة لإمكانية إزالة المثبتة لاحقاً دون الحاجة لمداخلة جراحية ثانية لمنطقة المفصل. ظهرت لأول مرة في عام 1962، ولكنها افترقت للاستقرار الوظيفي في تلك الفترة إلى أن تم تعديلها في عام 1980 من قبل (Petzel)، وفي عام 1981 من قبل (Gerber و Eckelt) واستخدمت كمثبتة عظمية (Eckelt and Gerber, 1981). وتعتبر هذه المثبتة من ناحية الميكانيك الحيوي مثبتة مستقرة بشكل كبير (Krenkel, 1992) (Wolf and Eckelt, 1987)، يتشكل هذا الاستقرار بشكل أساسي بسبب إحكام تثبيت رأس البرغي Screw nut على قاعدة الفك.

ولرأس البرغي دور أساسي أيضاً إذ يساعد في عملية إزالة البرغي بسبب توقف التشكل العظمي في منطقة رأس البرغي. والميزة الأساسية في هذه التقنية هي سهولة إزالة المثبتة دون التداخل على المفصل إضافة للاستقرار الذي تؤمنه (الشكل 1-8)، إلا أنها لا تستخدم عند المرضى ذوي الرأد الضيق (Eckelt and Hlawitschka, 1999).

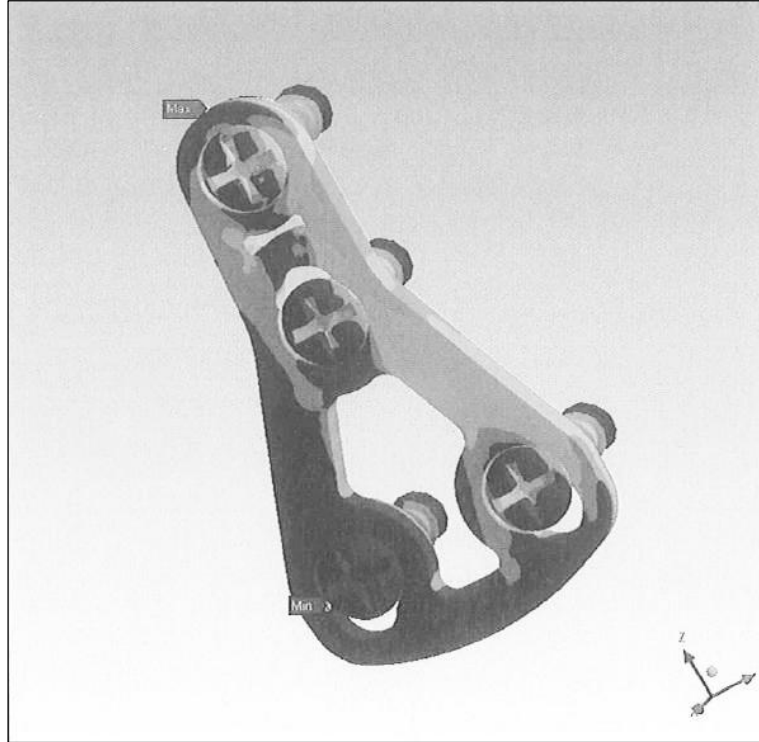


الشكل (1-8): مبدأ عمل البرغي لاغ في تثبيت كسور لقمة الفك السفلي (Eckelt and Hlawitschka, 1999)

• 1-2-6-5- تقنية الصفيحة بشكل دلتا:

وصمّمت هذه الصفيحة لاستخدامها عوضاً عن باقي التقنيّات وذلك لاستخدامها في العمليات الجراحية المجراة من داخل الفم لصغر حجمها وسهولة التعامل معها. وفي كسور عنق اللقمة -خاصة المرتفعة منها- كثيراً ما يكون هناك مكان يكفي لوضع برغيين فقط في الجزء اللقمي، ولا بد من جعلهما إما أفقيين أو عموديين، أما بالنسبة للقطعة البعيدة فيتمّ وضع البرغيين بشكل أفقي ولا بد من وجود مسافة بينهما من أجل تحقيق المبدأ الميكانيكي الحيوي وهذا ما يتحقق في الصفيحة بشكل دلتا (الشكل 9-1).

وهذه الصفيحة صمّمت بحسب الدراسات الخاصة بالإجهادات وتوزعها، حيث تقاوم إجهادات الشد في الجانب الأمامي من اللقمة، وإجهادات الضغط الخلفية، وقوى الفتل الداخلية الخارجية ذات الأثر المستمر على اللقمة (Meyer et al., 2002, Meyer et al., 1994, Wagner et al., 2002, Throckmorton and Dechow, 2006). وذلك لمئاتها (Haug et al., 2002, Lauer et al., 2007a, Haim et al., 2011).



الشكل (9-1): شكل الصفيحة دلتا والدراسة المجراة عليها (Meyer et al., 2006)

### 1-3- مبادئ الميكانيك الحيوي

عظم الفك السفلي متحرك ويلعب دوراً أساسياً في عملية المضغ، ولا بد من معالجة كسور اللقمة أن تهدف إلى إعادة الوظيفة الماضغة بشكل دقيق لاستعادة حركة اللقمة والإطباق السنّي أقرب ما يكون إلى الحالة الطبيعية. وكلما أمكننا تحقيق ذلك بشكل أكبر كان هذا أفضل (Kleinheinz and Meyer, 2009b).

ومن صفات المعالجة المثالية أن يستغني المريض بها عن معالجة ثانية وأن تكون قابلة للتطبيق والتكرار لكلّ الممارسين. لذلك طمح الباحثون للوصول إلى هذه الأهداف من خلال المقاربات المختلفة، وأول ما بدؤوا به هو التثبيت البسيط باستخدام الفك العلوي كجبرة (التثبيت بين الفكي) التي اعتمدت على تثبيت الفك المبكر والقيام بعدها بالمعالجة الوظيفية. وبعد ذلك تمّ وضع المعالجات الجراحية بالاعتماد على المثبتات لإجراء التثبيت الداخلي بالردّ المفتوح. ويبدو أن هذه المعالجة هي التي لاقت استحساناً كبيراً الآن إذ أنها الطريقة الوحيدة التي تضمن الاستعادة التشريحية لمنطقة الكسر بشكل جيد والاسترداد الوظيفي الفوري نسبياً مع تجنب اختلاطات الطرق الأخرى (عدم تناظر الوجه وسوء الوظيفة المفصالية واعتلال الإطباق... إلخ) (Kleinheinz and Meyer, 2009b).

وبعد الوصول إلى هذه النتيجة ارتقى البحث العلمي للوصول إلى طريقة التثبيت القادرة على تحمل الإجهادات في هذه المنطقة والتي تتوافق مع البنى التشريحية المحيطة بها ويمكن إدخالها بسهولة.

ولا بدّ من التعرّف على القوى الخارجية والإجهادات التي تنشأ في منطقة اللقمة وذلك لأن اختيار نوع المثبّطة وحجمها وموضعها يعتمد على هذه المعايير.

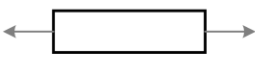
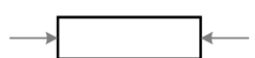
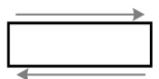
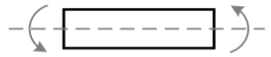
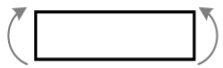
### 1-3-1- أنواع الإجهادات:

تنشأ قوة داخل كل جسم صلب عند تطبيق قوة خارجية عليه وهذه القوة هي ما تسمى بالإجهاد. وينتج عن هذه القوة الداخلية تشوه -قد لا يُرى بالعين المجردة- يسمح للجسم بأن يعود إلى وضعه المستقر بعد زوال القوة.

وتختلف شدة وأشكال الإجهادات (شد، ضغط، قصّ وليّ) بحسب خواص القوة الخارجية (المنشأ والشدة والاتجاه) وبحسب طبيعة وشكل الجسم الصلب.

ويمكن أن تصنّف الإجهادات لنوعين أساسيين هما: الإجهاد المحوري (ويشمل إجهادات الشد وإجهادات الضغط) وإجهاد القصّ (ويشمل إجهادات القصّ والفتل والثني) (الجدول 4-1) (Craig and Powers, 2002).

الجدول (4-1): القوى المطبقة وأشكال الإجهادات المتشكلة (Craig and Powers, 2002)

| تمثيل للقوة                                                                         | التشوه الحاصل    | القوة المطبقة             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|
|  | Elongation تطويل | محورية Axial              |
|  | Shrinkage تقلص   |                           |
|  | Shear قصّ        | قصّ Shear                 |
|  | Torsion فتل      | عزم الليّ Twisting moment |
|  | Bending ثني      | عزم الثني Bending moment  |

يعاني الجسم عندما يتعرض لقوة ما من تشوه ونوع من الإجهاد الحاصل، فالتشوه الحاصل عند تطبيق قوة شد أو سحب هو تطاول الجسم باتجاه القوة المطبقة بينما تسبب قوة الضغط أو الدفع تقصراً في الجسم في جهة تطبيق القوة نفسها.

والانفعال بالتعريف هو ناتج قسمة التغير في طول الجسم ( $\Delta L$ ) (عند تعرضه للقوة) على الطول الأصلي ( $L_0$ ) ويرمز له بـ ( $\epsilon$ ) (Epsilon) ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\text{الانفعال } Strain (\epsilon) = \frac{\text{التشوه } Deformation}{\text{الطول الأصلي } Original length} = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

ويختلف مقدار الانفعال الحاصل باختلاف شدة القوة المطبقة وباختلاف نوع المادة نفسها (Craig and Powers, 2002).

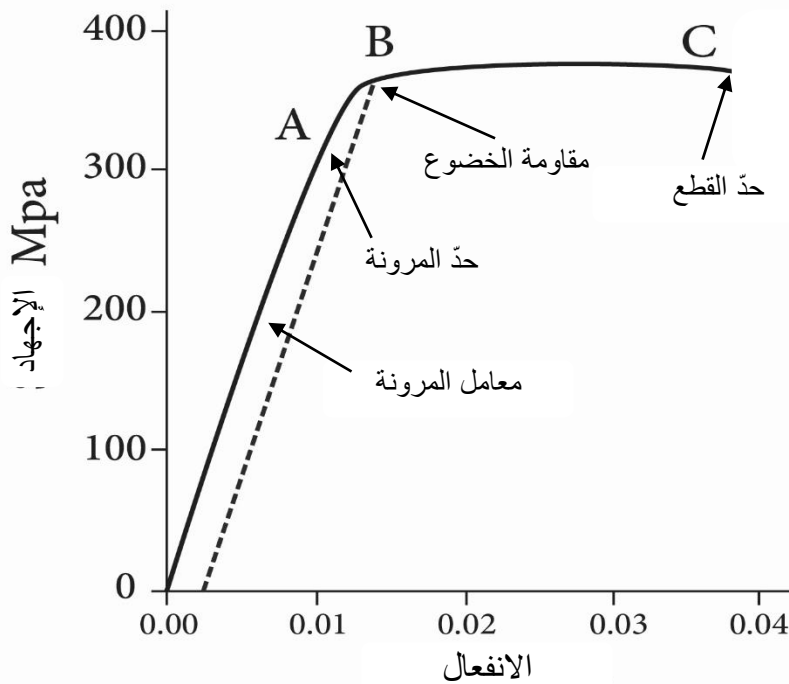
وباعتبار الانفعال يمثل بنسبة فهو لا يملك وحدة قياس خاصة به، ويمكن أن يتم جعل القيم بوحدة الميكرو وذلك لإجراء المقارنات والدراسات بشكل أسهل وذلك من خلال مضاعفة النتائج بـ  $10^6$  (وهذا ما تم استخدامه لعرض نتائج هذا البحث).

يفضّل استخدام العلاقة بين الإجهاد والانفعال للتعبير عن خواص مادة ما عوضاً عن استخدام العلاقة بين القوة والتشوه الحاصل، وذلك لأن العلاقة تبقى ثابتة بين الإجهاد والانفعال بغض النظر عن أبعاد الجسم الذي تطبق عليه القوة وشكله الهندسي، بينما تختلف العلاقة بين القوة والتشوه باختلاف حجم المادة.

ويتمّ حساب الإجهادات والانفعالات في مجال طب الأسنان من خلال قياس القوة أو الحمولة المطبقة ومقدار التشوّه الحاصل ومن ثمّ حساب كل منهما بحسب ما يوافقها.

عند رسم منحنى إجهاد-انفعال لمادّة ما نلاحظ أنّ قيمة الانفعال تزداد بشكل طردي بازدياد قيمة الإجهاد (الشكل 10-1)، كما يلاحظ أنّ التناسب بين الإجهاد والانفعال تناسب خطّي Linear وذلك في القسم الأوّل من المنحني (من 0 وحتى A)، أمّا بعد النقطة A فإنّ العلاقة تصبح غير خطيّة، وتدعى قيمة الإجهاد عند النقطة A حدّ المرونة Elastic Limit، أمّا حدّ القطع فهو قيمة الإجهاد التي تتحوّل المادّة عند تعرّضها لها.

ويلاحظ أنّ قيمة حدّ المرونة عند تطبيق قوى الشد تختلف عن قيمتها عند تطبيق قوى الضغط بالنسبة للمادّة نفسها.



الشكل (10-1): منحنى إجهاد-انفعال (Craig and Powers, 2002)

### 1-3-4- مقاومة الخضوع Yield Strength:

تعبّر مقاومة الخضوع أو إجهاد الخضوع Yield Stress عن قيمة الإجهاد الذي تبدأ المادة عنده بالسلوك اللدن بدلاً من المرن (نهاية الجزء الخطّي من قانون هوك)، وعند هذه القيمة يحدث تشوّه محدّد ودائم ولا يعود الجسم إلى أبعاده الأصلية تماماً حتّى بعد إزالة القوّة المطبّقة.

لقياس مقاومة الخضوع يتمّ تحديد المعادل المئوي percent offset أولاً بشكل عشوائي وهو عبارة عن الانفعال الدائم ويشار إليه عادةً بنسبة مثل 0.1% أو 0.2% أو 0.5% وأغلب الدراسات تعتمد 0.2%، ثمّ يتمّ رسم خط مواز للمنطقة الخطيّة في منحنى الإجهاد-انفعال ونقطة التقاطع مع الخط المنحني تعبّر عن إجهاد الخضوع الموافق لهذا المعامل، وهي ممثّلة في الشكل (10-1) بالنقطة B (Craig and Powers, 2002).

### 1-3-5- معامل المرونة Elastic Modulus:

ويشار إليه أيضاً بمعامل يونغ Young's Modulus ويرمز له بـ  $E$  وهو يمثّل متانة المادّة ضمن المدى المرن، يقاس هذا المعامل بنسبة الإجهاد إلى الانفعال أو بمقدار انحدار المنطقة الخطيّة في منحنى الإجهاد - الانفعال ويعطى بالعلاقة:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ أو } E = \frac{\text{Stress الإجهاد}}{\text{Strain الانفعال}} = \text{Elastic Modulus معامل المرونة}$$

وتكون واحدة قياس هذا المعامل هي واحدة قياس الإجهاد نفسها باعتبار أنّ الانفعال يعبّر عن نسبة ولا يملك واحدة وبالتالي يعبّر عنه عادةً بالميغا باسكال MPa. كلما زادت قوى التجاذب بين الذريّة أو الجزيئيّة للمادّة زادت قيمة هذا المعامل وبالتالي كانت المادّة أكثر متانة وصلابة.

وباعتبار أنّ خاصيّة المرونة هذه تعتمد على قوى التجاذب داخل المادّة فإنّها تبقى نفسها سواء تعرّضت المادّة لضغط أم شد (Craig and Powers, 2002).

### 1-3-6- معامل بواسون *Poisson's Ratio*:

عند خضوع جسم لقوة محورية (شد أو ضغط) فإنه يعاني من انفعال محوري وجانبي أيضاً، فعند التعرض لقوى شد فإن الجسم يتطاوّل باتجاه تطبيق القوة وتقص أبعاد المقطع العرضي له، بينما في قوى الضغط يزيد المقطع العرضي من نقصان طوله.

وتدعى نسبة الانفعال الجانبي إلى الانفعال المحوري ضمن المجال المرن بمعامل بواسون ويرمز له بـ  $(\nu)$  (Craig and Powers, 2002).

### 1-3-7- الميكانيك الحيوي للعظام:

يعتبر العظم مادة معقدة مختلفة الخواص (Anisotropic) (بيدي سلوكاً ميكانيكياً مختلفاً في المستويات الفراغية الثلاثة) كما يعتبر مادة مرنة ولدنة (أي أن التشوّه يحدث في الحقل المرن واللدن) ولا تتّبع في سلوكها المرن قوانين هوك الكلاسيكية (Hooke's law). وبالتالي العلاقة بين التشوّه (القابل للحساب تجريبياً) والإجهاد (الغير قابل للحساب) ليست متوازية بشكل كامل (Sicher and Dubrul, 1970).

تنتج الإجهادات والتشوّهات في منطقة اللقمة من تأثير محصلة القوى الخارجية على الفك السفلي أثناء المضغ. ويمكن تقسيم هذه القوى إلى القوى العضلية (التي تنشأ في مكان ارتكاز الحزم العضلية)، ومحصلة قوى المضغ التي تنشأ على نقطة من القوس السنية (كالقوة المتشكلة عند العض على سنين متقابلين)، والقوى الناتجة عن رد فعل المفصل (التي تنشأ في نقطة من السطح الداخلي للمفصل الذي يعتبر مفصل ثنائي رزي)، والقوى الناتجة عن رد فعل البنى المحيطة بالمفصل (المحفظة والأربطة المفصالية) إضافة لقوى الجاذبية الأرضية. عادة تهمل القوتين الأخيرتين بالمقارنة مع القوى الأخرى (Mercier et al., 1970, Sicher and Dubrul, 1970).

سنقوم بالتفصيل حول طريقة تحديد نوعين من القوى الخارجية المؤثرة:

### 1-3-8- القوى العضلية:

تتشترك العديد من العضلات في عملية المضغ بعضها بعيد عن منطقة الفك السفلي، تتوضع الكثير من هذه العضلات عميقاً في الوجه والعنق مما يجعل الوصول إليها في الكائنات الحية صعباً (Pruim et al., 1978).

لذلك تقوم الدراسات الميكانيكية الحيوية بتبسيط العملية الماضغة وتأخذ بعين الاعتبار الحزم العضلية الرئيسية فقط وهي: الحزم العضلية الصدغية (التي تقسم عادة إلى ألياف أمامية وأخرى خلفية لاختلاف فعلها الميكانيكي) والحزم العضلية الماضغة (في بعض الأحيان تقسم إلى ألياف سطحية وأخرى عميقة لنفس السبب) والعضلات الجناحية الأنسية والوحشية (باعتبار أليافها السفلية فقط) والحزم العضلية فوق اللامية (عادة تصنع على شكل مجموعة واحدة من الحزم العضلية لتشابه فعلها) (Ikai and Fukunaga, 1968).

من المستحيل حساب هذه القوى بشكل مباشر عند الأحياء لذلك كان لا بد من حسابها بطريقة غير مباشرة. ومعظم التقنيات الحسابية تعتمد على علاقتين كلاسيكيتين في الفيزيولوجيا: العلاقة الأولى هي العلاقة بين مساحة مقطع العضلة وبين قوتها (كلما كانت المساحة أكبر كانت القوة أكبر) وهذه العلاقة تسمح لنا بحساب القوة الأعظمية الافتراضية لكل عضلة، أما العلاقة الثانية فهي تقوم بحساب القوة الأعظمية التجريبية من خلال إيجاد العلاقة بين نتائج التخطيط العضلي الكهربائي لعضلة ما ومقدار قوة هذه العضلة (Ikai and Fukunaga, 1968, Pruim et al., 1978).

أصبح تشريح العضلات الماضغة معروفاً بشكل جيد، وكذلك محاورها الميكانيكية التي قام بتحديدتها العديد من الباحثين، وطريقة الحصول عليها بسيطة من خلال رسم خط يصل مركز منطقتي المنشأ والمرتكز للعضلة (Ferre et al., 1983, Pruim et al., 1980, Osborn and Baragar, 1985).

وهي سهلة القياس في الكائنات الحية على عكس قوى العضلات وهي عبارة عن قياس القوة الناتجة بين القوسين السنيتين في وضعيات الإطباق باستخدام الأجهزة الإطباقية المختلفة (Pruim et al., 1980).

تقوم أغلب المراجع والدراسات بقياس النتائج أثناء الإطباق. وتختلف هذه النتائج باختلاف الجنس ومستوى التدريب الفيزيائي وحالة النسيج حول السنية. ومن الملاحظ أنه كلما توجّهنا بالإطباق إلى الخلف كلما كانت القوة أكبر، ويمكن القول أن القوة الأعظمية للإطباق تكون عند الأرحاء الأولى بينما الأصغرية تكون عند الثنايا (Champy et al., 1976, Champy and Lodde, 1977, Prui et al., 1980).

تنشأ الإجهادات في كامل الفك السفلي وذلك عند تطبيق أيّ قوة عليه. ويمكن حساب هذه الإجهادات من خلال النمذجة الفيزيائية الرياضية (باستخدام نموذج من العناصر المنتهية) أو من خلال القياسات التجريبية للتشوّ الناتج عن الإجهادات، مع أنه لا يوجد علاقة ثابتة بين الإجهاد والتشوّ الحاصل في المواد المعقّدة كالعظم (Kuppers, 1971).  
اعتمدت الدراسات سابقاً على التحاليل الهندسية لمحاولة حساب الإجهادات العظمية التي قد تمّ الاستغناء عنها حالياً -على الأقل بما يخص الفك السفلي- ولوحظ أن هذه النتائج تتعلّق بتشوّهات Artifacts الصورة الشعاعية وعيوب Stigmas النمو أكثر من تعلّقها بالإجهادات (Delachapelle and Laude, 1974).

ويلاحظ أن العظم يتلاءم مع القوى الخارجية المطبّقة عليه ليس فقط من خلال إعادة توزّع الحزم العظمية في داخله بل أيضاً بتغيير خواصه المادية الداخلية وشكله الخارجي.  
ويعتبر بعض العلماء أن عظم الفك السفلي من العظام الطويلة إلا أنه تكيف بهذا الشكل ليقاوم الإجهادات الخارجية، وقامت الدراسات بوصف خطوط الإجهادات في منطقة اللقمة بشكل حزمة مضاعفة (حزمة ضغط خلفية وحزمة شد أمامية) على طول المحور الطولي لعنق اللقمة (Kuppers, 1971, Kleinheinz and Meyer, 2009b).

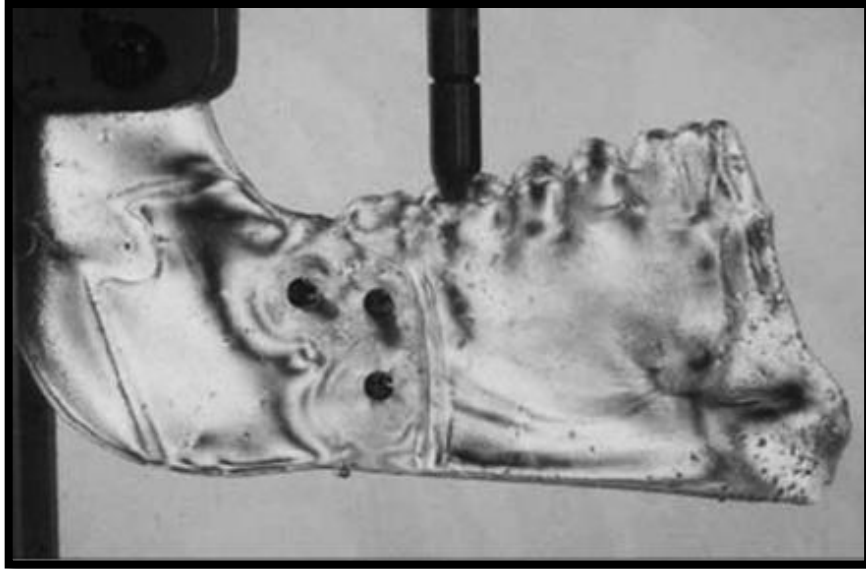
### 1-3-11- طرائق الاختبار الميكانيكية:

ويمكن قياس الإجهادات المتشكلة داخل أي مادة باستخدام أحد الطرق التالية ( Kleinheinz and Meyer, 2009b):

1- بالحساب المباشر: إذا كانت المادة معروفة الخواص ولها شكل بسيط (كسلك مصنوع من الحديد).

2- بحساب التشوه الناتج عنها بالقياسات التجريبية كمقاييس الإجهادات ( strain gauges) وجهاز التصوير المُجسَّم والتداخل بين الأمواج ( holographic interferometry) وجهاز القياس الكهروضوئي (photoelasticimetry) (الشكل 11-1) وغير ذلك.

3- باستخدام المحاكاة الفيزيائية الرياضية للمواد باستخدام مُجسَّم مؤلف من عناصر منتهية ولا يمكن ذلك إلا بعد معرفة كل التفاصيل الميكانيكية الكمية (الخواص الميكانيكية للمادة ومقدار القوى المؤثرة).



الشكل (11-1): نموذج كهروضوئي في دراسة على الفك السفلي (Andrade et al., 2015)

وفي مجال طب الأسنان هناك عدة تقنيات اشتهرت باستخدامها لإجراء الاختبارات الميكانيكية في الأبحاث الطبية (Karl et al., 2009):

• 1-11-3-1- الاختبارات الميكانيكية العامة General mechanical tests:

وهي عبارة عن طرائق تجريبية تتم عادةً باستخدام أجهزة خاصة تقوم بتطبيق القوى وقياسها، وتكون القوى المطبقة على شكل قوى قص أو شد أو ضغط، من مساوئ هذه التقنية أنه مهما بلغت دقة الإعدادات لها فإن العينات المدروسة لا تماثل بشكل كامل الواقع السريري من ناحية شكل العينة وشروطها أو من ناحية البيئة المحيطة الموجودة في الواقع السريري ولا يمكن تمثيلها بشكل دقيق أثناء إجراء هذا النوع من الاختبارات (Craig and Powers, 2002).

• 2-11-3-1- اختبارات الأجسام الكهرضوئية Photoelastic examinations:

تعتمد هذه التقنية على تغيير انكسار الضوء وانتشاره في بعض المواد الشفافة عندما تخضع للإجهاد حيث ينقسم الشعاع الضوئي الوارد الذي يخترقها إلى شعاعين ضمنها. تكون المادة الشفافة عادةً ذات خواص موحدة Isotropic تتحول إلى خواص غير موحدة عند تطبيق الحمل، مما يؤدي إلى ظهور هالات ضوئية في خواص غير موحدة عند تطبيق الحمل، وتتعلق شدة الإجهاد بعدد الحلقات المتشكلة ونظام ترتيبها وبحسب تقاربها وتباعدها (Craig and Powers, 2002).

• 3-11-3-1- النمذجة الحاسوبية (تقنية العناصر المنتهية):

تعتمد على تجزئة البنية المفترضة إلى عدد محدود من العناصر الهندسية البسيطة (Craig and Powers, 2002)، ويمكن أن تستخدم هذه التقنية من النماذج ثنائية الأبعاد أو ثلاثية الأبعاد ويمكن حتى أن تسجل التغيرات بتغير الزمن (رباعية الأبعاد) (McInerney and Terzopoulos, 1995).

• 4-11-3-1- أجهزة قياس الانفعالات Strain gauge:

تعطي هذه التقنية قيمة رقمية للانفعالات الحاصلة، من مساوئها أن إمكانيات تطبيقاتها محدودة ومحصورة فقط بالتطبيقات الخارجية عند البشر (Karl et al., 2009).

## 1-4-4- تقنية العناصر المنتهية Finite Element Method:

### 1-4-1- لمحة تاريخية:

ابتداءً من قانون التناسب لـ Hooke عام 1660 ومع تطوّر العلوم الفيزيائية والرياضية والتي ساهم فيها بشكل كبير ظهور الحواسيب بشكل تجاري في أربعينيات القرن الماضي ظهرت وتبلورت تقنية العناصر المنتهية، وكان أول ظهور لها على يد Clough عام 1960 في مجالات الهندسة المدنية وأصبح المهندسون بسببها قادرين على إنشاء جسور أفضل وصنع تصميمات أكثر تعقيداً.

طُوّرت العديد من البرامج الحاسوبية في الغرب واليابان، وكان أول البرامج التي لاقت قبولاً واسعاً هو SAP لصاحبه E. L. Wilson، وقد استخدم لهذا البرنامج لغة FORTRAN التي كانت اللغة الوحيدة المناسبة في تلك الفترة، أما الآن فتوجد العديد من البرامج التي يمكن لأي شخص مدرب أن يقوم بتحليل العناصر المنتهية بواسطتها؛ وقد أصبحت هذه البرامج قادرة على دراسة كل ما يتعلّق بالميكانيك من المفاعل النووي إلى الأسنان (Geng et al., 2008).

### 1-4-2- ما هي تقنية العناصر المنتهية؟

في بداية الأمر تمّ استخدام تقنية العناصر المنتهية من أجل تحليل الإجهادات الميكانيكية، ثمّ تمّ تطبيقها في مجالات عديدة مثل التحاليل الحرارية Thermal analysis وحركة السوائل fluid flow analysis والتحاليل البيزوكهربائية Piezoelectric analysis وفي مجالات أخرى عديدة إذ تعتمد هذه التحاليل على المعادلات نفسها رغم اختلاف الخصائص والمتغيّرات، كما يمكن أن تطبّق هذه التقنية على جميع المواد بكافة حالاتها الصلبة والسائلة والغازية، ساكنة أو متحرّكة (Geng et al., 2008, Liu and Quek, 2003).

تقنية العناصر المنتهية هي تقنية عددية تجد حلولاً تقريبية لتوزع المتغيرات التي يصعب إيجادها بالطرق التحليلية التقليدية. تتم هذه التقنية بتقسيم البنية المكونة للمسألة problem domain إلى عناصر صغيرة finite elements ذات عدد محدود -منتهٍ- وذات أشكال هندسية بسيطة، تُطبق على كل عنصر منها القوانين الفيزيائية المعروفة ومعادلات حسابية مناسبة، ثم تربط هذه العناصر ويتم حساب التأثيرات المتبادلة بين العناصر من خلال مجموعة من المعادلات الجبرية لاستنتاج القيم الميكانيكية المطلوبة، وبالتالي إيجاد الحلول بطريقة بسيطة لكامل البنية المدروسة (Liu and Quek, 2003).

المعالجة باستخدام تقنية العناصر المنتهية معالجة معقدة وتتصف بكونها تكرارية فقد يُحتاج لإعادة العمليات أكثر من مرة للوصول إلى الأداء المثالي.

#### 1-4-3- النمذجة الحاسوبية باستخدام تقنية العناصر المنتهية:

تتألف النمذجة الحاسوبية Computational modeling باستخدام تقنية العناصر المنتهية بشكل عام من أربع خطوات هي (Liu and Quek, 2003):

- التصميم الهندسي modeling of geometry.
- التقطيع Meshing (discretization).
- تحديد خصائص المواد Material Properties.
- تحديد الشروط الحدية وشروط التثبيت وشروط التحميل Boundary, initial and loading conditions.

تكون البنى الحقيقية معقدة جداً ويجب أن تبسّط حتّى يمكن التعامل معها، ففي النهاية يمثّل الشكل الهندسي بعدد من العناصر والخطوط المنحنية تمثّل بخطوط مستقيمة صغيرة على شكل قطع، وتتعلّق دقّة هذا التمثيل بعدد العناصر المستخدمة ولكن زيادة عدد العناصر تؤدّي إلى زيادة الوقت والإمكانية المطلوبة من الحاسب، لذلك يجب تحديد عدد العناصر بدرجة الدقّة المطلوبة وإمكانية الحاسب المتوفّرة، ونتيجة لذلك يمكن أن تحذف التفاصيل الهندسية الدقيقة أو تبسّط باعتبار أنّ التأثير مهمل عملياً وقد يكون دورها تجميلاً فقط. ويجب الانتباه إلى أنّ هذا الأمر ليس صحيحاً دوماً بالضرورة فبعض التفاصيل الدقيقة في بعض الحالات قد تؤدّي إلى تغيّر جذري بنتائج الاختبار "المحاكاة"، وهنا تلعب المعرفة والخبرة الدور الأكبر في تحديد مدى الدقّة المطلوبة للتفاصيل (Liu and Quek, 2003).

كما يمكن استخدام برامج حاسوبية خاصّة للتصميم (CAD) ذات واجهات رسومية graphic interface تعطي ملفّات حاوية على التصميم الهندسي للمنظومة الهندسية المدروسة (Liu and Quek, 2003). ويجب الانتباه إلى أنّ كل برنامج تصميم له طريقة خاصّة في صياغة الأشكال الهندسية جبرياً وهذا ما يدعى بالـ kernel ويتعبّر آخر يمكن اعتباره قلب برنامج التصميم الحاسوبي، وبالتالي يعطي كل برنامج ملفّات ذات لواحق مختلفة بعضها يعطي صوراً أفضل وبعضها الآخر يمتلك صيغاً رياضية أفضل وقادرة على إعطاء حلول أدق.

#### • 1-4-3-2- Meshing: التقطيع

تكون الحلول عند أخذ الجسم المدروس كجزء واحد معقدة جداً وغير متوقعة، في حين تقرب تجزئة هذا الجسم إلى عدد من العناصر الصغيرة البسيطة الحل ضمن كل عنصر بسهولة وبالتالي تشكّل حلول جميع العناصر الحل النهائي للجسم كاملاً.

يلعب شكل العناصر الصغيرة دوراً هاماً في هذه العملية وأكثر الأشكال شيوعاً هي المثلثات رباعية الأضلاع، تمتاز المثلثات بقدرتها على تمثيل الأشكال ثنائية الأبعاد وثلاثية الأبعاد إضافة لمرونتها بتشكيل الأشكال الهندسية المعقدة غير أنّ دقة النتائج المتولدة عند استخدامها تكون أقل من تلك المتولدة عند استخدام رباعيّات الأضلاع (Liu and Quek, 2003).

#### • 1-4-3-3- Material Properties: تخصيص المواد

تعد هذه الخطوة من الخطوات البسيطة ولكن الهامة من أجل تحليل إجهادات الأجسام الصلبة، فيجب تحديد معاملي المرونة والقص، كما يمكن تحديد معاملي الكتلة ومعامل بواسون كبديل لإمكانية استنتاج باقي الخصائص منها.

لا تعتبر معرفة خصائص كل مادة أمراً سهلاً دوماً حيث تتوفر قواعد البيانات لبعض المواد بشكل تجاري، بينما نحتاج لإجراء اختبارات خاصة لمعرفة هذه الخصائص بدقة في أحيان أخرى (Liu and Quek, 2003).

• 1-4-3-4- تحديد الشروط الحدية وشروط التثبيت وشروط التحميل  
:Boundary, initial and loading conditions

لا بد من تزويد هذه المُجسّمات والنماذج بالمواصفات الميكانيكية الخاصة بالمادة المدروسة وذلك من أجل الحصول على نتائج موثوقة. يلعب تحديدها دوراً حاسماً في إيجاد الحل في المحاكاة وتتمّ قبل مرحلة المعالجة preprocessor عبر واجهات رسومية، ويجب توافر المعرفة والخبرة الكافية لدى المحلّل وذلك لتحديد هذه الشروط.

1-4-4- محاسن ومساوئ تقنية العناصر المنتهية:

• 1-4-4-1- المحاسن (Liu and Quek, 2003):

- يمكن تقسيم البنى ذات الشكل غير المنتظم إلى عدد مناسب من العناصر الصغيرة وبالتالي تسريع عملية حساب نتائج الاختبارات الميكانيكية بشكل أكثر دقة وسهولة باستخدام الحاسب.
- يمكن استخدامها للأجسام الساكنة والمتحركة وللأجسام الصلبة والسائلة والغازية.
- يمكن إدخال بيانات بحجوم كبيرة ليتمّ معالجتها وإخراج معطيات بحجوم أكبر وزيادة حجم المسألة لا يعني بالضرورة بذل جهد أكبر.
- تساعد هذه التقنية في حل المشكلات المعقّدة وفي إيجاد حلول جديدة ومناسبة.
- تمكّن هذه التقنية من اختبار كل الاحتمالات الواردة من أجل التوصل إلى الحل الأمثل.
- تكلفتها منخفضة نسبياً، والأهم من ذلك أنّها قادرة على إجراء التحاليل ثلاثية الأبعاد.
- الاكتفاء بنموذج واحد لتنفيذ عدد كبير من الدراسات وإلغاء العوامل الشخصية المؤثرة على النتائج (Szabo and Babuška, 1991).
- إمكانية توصيف الاستجابات الميكانيكية الحيوية بدقة عالية (Mohammed and Desai, 2014).

#### • 1-4-4-2- المساوي (Liu and Quek, 2003):

- تعتمد دقة الحلول المعطاة على نوع العناصر في التصميم وموقعها.
- يعتمد الحل بشكل أساسي على الشبكة المستخدمة -شكل العناصر وترتيبها وعددها- ويختلف باختلافها.
- اختلاف النتائج باختلاف الشخص المحلل وذلك لأن الشروط الخاصة بالنموذج -شروط التحميل وخواصه المادية... إلخ- تعتمد على خبرة المحلل، وقد يكون الاختلاف صغيراً أو كبيراً.
- دقة المخرجات لا تضمن دقة الحل بالضرورة.
- ضرورة استخدام تقنية العناصر المنتهية تكون فقط في حال عدم وجود تقنية اختبار أخرى أو لعدم إمكانية تطبيقها لأسباب مادية.
- تعتمد مصداقية النتائج على مدى تتبع المحلل ووعيه للعوامل المؤثرة في النتائج ومدى تقليله للأخطاء (Geng et al., 2008).

#### 1-5- الدراسات السابقة:

##### • 1-5-1- دراسة Costa - 2012:

قام (Costa et al., 2012) بإجراء دراسة مرجعية Literature review في الأدب الطبي حول الدراسات التي بحثت عن أفضل تقنية لتنشيط كسور اللقمة والمعتمدة على التحليل الميكانيكي -الدراسات المخبرية والمحوسبة- وتضمنت المراجعة 11 دراسة: 7 دراسات مخبرية و4 دراسات محوسبة (الجدول 1-5).

قامت الدراسات المخبرية (الجدول 1-6) بدراسة تقنيات تثبيت مختلفة:

الجدول (1-5): الدراسات التي وافقت معايير الاختيار (Costa et al., 2012)

| Author                     | Country     | Design                                            | Avaliation method                                 |
|----------------------------|-------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Choi <i>et al.</i>         | South Korea | <i>In vitro</i> study (fresh human mandibles)     | Elastic compression tests                         |
| Haug <i>et al.</i>         | USA         | <i>In vitro</i> study (synthetic human mandibles) | Elastic compression tests                         |
| Wagner <i>et al.</i>       | Austria     | Computational study                               | Finite element method                             |
| Asprino <i>et al.</i>      | Brazil      | <i>In vitro</i> study (synthetic human mandibles) | Elastic compression tests                         |
| Meyer <i>et al.</i>        | France      | <i>In vitro</i> study (fresh human mandibles)     | Elastic compression tests and photoelastic stress |
| Tominaga <i>et al.</i>     | Japan       | <i>In vitro</i> study (synthetic human mandibles) | Elastic compression tests                         |
| Lauer <i>et al.</i>        | Germany     | Computational study                               | Finite element method                             |
| Meyer <i>et al.</i>        | France      | <i>In vitro</i> study (fresh human mandibles)     | Elastic compression tests and photoelastic stress |
| Seemann <i>et al.</i>      | Austria     | Computational study                               | Finite element method                             |
| Gealh <i>et al.</i>        | Brazil      | <i>In vitro</i> study (synthetic human mandibles) | Elastic compression tests                         |
| Parascandolo <i>et al.</i> | Italy       | Computational study                               | Finite element method                             |

- صفيحة أحادية على الحافة الخلفية للرد.

- صفيحة أحادية ضاغطة.

- صفيحة من النظام المغلق Lock system.

- صفيحة إعادة بناء واحدة.

- صفيحتين مسابرتين.

- صفيحتين متقاطعتين overlapping.

- برغي لاغ.

- صفيحة مستطيلة أو شبه منحرفة.

- إضافة لمقارنة بين تثبيت

الصفيحة والصفيحتين

بأطوال البراغي المختلفة.

ولوحظ أنّ التثبيت باستخدام صفيحتين أو باستخدام الصفيحة المستطيلة أو شبه المنحرفة كان مفضلاً على التثبيت باستخدام الصفيحة الواحدة.

ودلت النتائج على أفضلية تقنية الصفيحتين المسابرتين على غيرها من التقنيات.

وتبين أنّ الصفائح الضاغطة أفضل من الصفائح غير الضاغطة ومن الصفائح ذات النظام المغلق Lock system.

وأنّ البراغي الأطول (ثنائية القشرة) تعطي مقاومة أكبر للمثبتات.

أما الدراسات المحوسبة: (الجدول 1-7) فتضمّنت أربع دراسات: دراستين أجريت على تقنية التثبيت باستخدام صفيحة واحدة ودرستين أجريت على تقنيتي تثبيت (صفيحة مستقيمة واحدة وصفيحتين)، ثلاث دراسات منها استخدمت صفائح مستقيمة ذات أربعة ثقوب ودراسة واحدة استخدمت صفائح مستقيمة ذات ستة ثقوب.

الجدول (1-6): الدراسات المخبرية (Costa et al., 2012)

| Author                 | Titanium plates           |                                         |              |                          |
|------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|--------------|--------------------------|
|                        | Number                    | Shape                                   | Holes number | Stability                |
| Choi <i>et al.</i>     | 1 versus 2                | Conventional                            | 4            | Yes (2 plates)           |
| Haug <i>et al.</i>     | 1                         | Conventional                            | 4            | No                       |
| Asprino <i>et al.</i>  | 1 versus 2                | Conventional                            | 4            | Yes (2 plates)           |
| Meyer <i>et al.</i>    | 1                         | Conventional / New (3-D Profile M 2.3*) | 4            | Yes (3-D Profile M 2.3*) |
| Tominaga <i>et al.</i> | 1 versus 2                | Conventional                            | 4            | Yes (2 plates)           |
| Meyer <i>et al.</i>    | 1                         | New (Modus TCP® 2.0)                    | 4/9          | Yes                      |
| Gealh <i>et al.</i>    | 1 versus 2 (superimposed) | Convencional                            | 4            | Yes (2 plates)           |

الجدول (1-7): الدراسات المحوسبة (Costa et al., 2012)

| Author                     | Union element |                      |              |                       |
|----------------------------|---------------|----------------------|--------------|-----------------------|
|                            | Number        | Shape                | Holes number | Stress distribution   |
| Wagner <i>et al.</i>       | 1 versus 2    | Conventional         | 4/6          | Around the screw area |
| Lauer <i>et al.</i>        | 1             | New (Modus TCP® 2.0) | 4            | Around the screw area |
| Seemann <i>et al.</i>      | 1             | New (Modus TCP® 1.0) | 4            | Plate center          |
| Parascandolo <i>et al.</i> | 1 versus 2    | Conventional         | 4            | Around the screw area |

جميع الدراسات قامت بتطبيق القوى المحاكية لعمل الحزم العضلية على نماذج الدراسة، اثنتان منها فقط قامت بتوضيح تفاصيل هذه القوى (دراسة قامت بمحاكاة عمل أربع حزم عضلية على كل جانب وأخرى حاكت عمل ست حزم عضلية على كل جانب).

واحدة من الدراسات استخدمت صفيحة شبه منحرفة والباقية استخدمت صفائح مستقيمة.

وجدت الأبحاث التي قامت بإجراء الدراسة على تقنية الصفيحة المستقيمة الواحدة أنّ هذه التقنية كافية للاستخدام الاعتيادي، بينما وجدت الدراسات التي قامت بمقارنة تقنيتين أنّ تقنية الصفيحتين كانت أكثر استقراراً من الصفيحة الواحدة.

ولوحظ أنّ الاستقرار الأولي كان ضعيفاً في أغلب المثبتات التي اعتمدت على صفيحة واحدة (موضوعة على الحافة الخلفية للرأد)، وفُسر ذلك من خلال مبدأ التثبيت المتوازن وظيفياً (الخاص بـ Champy).

أيضاً لوحظ حدوث الفشل أو الكسر في الصفائح الضاغطة وفي الصفائح ذات النظام المغلق Lock system وفي صفائح إعادة البناء (بالرغم من أنّها قد تبدو قوية ومتينة) وذلك عند استخدامها بشكل منفرد، وذلك لأنّها لم توضع في المكان التشريحي الصحيح بحيث تقاوم القوى الفيزيولوجية (Choi et al., 2001).

أثبت (Haug RH, 2002) أنّ الصفائح الضاغطة أفضل في مقاومة القوى المحركة للّقمة جانبيّاً.

اقترح (Asprino et al., 2006) استخدام صفيحتين في التثبيت وفي حال عدم تمكّنا من ذلك نقوم باستخدام براغي أطول (طول 8 مم).

أثبت (Gealh et al., 2009) أنّ الصفيحتين المتقاطعتين لا تزيد من مقاومة اللّقمة من الانزياح الجانبي.

أظهرت الدراسات المجراة على أشكال الصفائح الغير التقليدية (شبه المنحرفة بأربعة ثقوب وأخرى بتسعة ثقوب) (Meyer et al., 2006, Meyer et al., 2008) أنّ نتائج هذه الصفائح كانت أفضل من نتائج استخدام الصفيحة الواحدة أو برغي لاغ، وزعموا بأنّ هذه الصفائح توافق مبدأ Champy وأنّها قادرة على تحمّل القوى الفيزيولوجية المختلفة.

## وصف الدراسات المحوسبة:

اعتمدت هذه الدراسات على برامج تحليلية تستخدم تقنية العناصر المنتهية وذلك على نماذج الفك السفلي.

انطلق (Lauer et al., 2007b) و (Parascandolo et al., 2010) في دراستهم من نماذج صناعية للفك السفلي، بينما انطلق (Wagner A, 2002) من صورة طبقي محوري وقام بنمذجة المُجسّم من خلال الاستفادة من وحدات الهاونسفيلد وإعطاء قيم معامل المرونة والقساوة الخاصة بالعظم الطبيعي على البرامج الحاسوبية الخاصة وصولاً لنموذج افتراضي ثلاثي البعد.

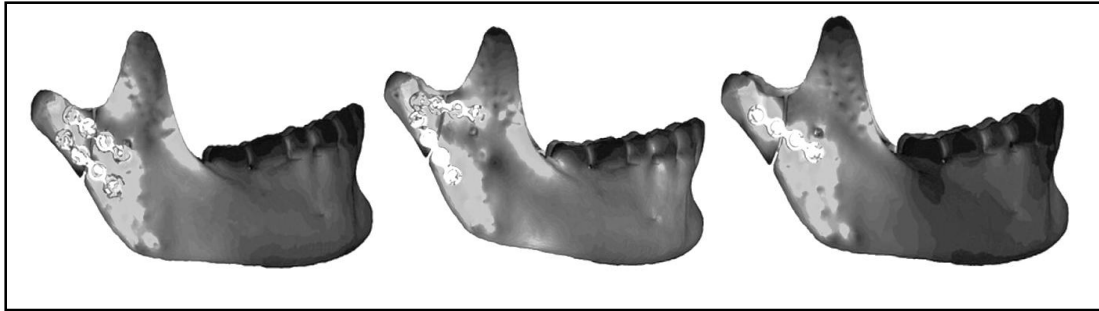
ظهرت النتائج في الدراستين (Parascandolo et al., 2010, Wagner A, 2002) والتي قارنت نموذجين للتثبيت أنّ الصفيحتين أكثر ملاءمة للتثبيت من الصفيحة الواحدة وأنّ تقنية الصفيحتين هي التقنية المختارة Method of choice للتثبيت مثل هذه الكسور.

أما في دراستي (Lauer et al., 2007b, Seemann et al., 2007) فكانت النتائج مرضية في نماذج التثبيت المستخدمة من قبلهما رغم أنّها صفيحة واحدة (بأشكال مبتكرة) وعلّل ذلك بأنّها نماذج ذات تصميمات ملائمة.

في ختام هذه الدراسة لاحظ المؤلفون أنّ الدراسات المحوسبة أظهرت نتائج مماثلة لتلك التي ظهرت في الدراسات المخبرية (وهو ترجيح استخدام الصفيحتين لهذه الأنواع من الكسور)، مما يعطي مصداقية لمثل هذه الدراسات.

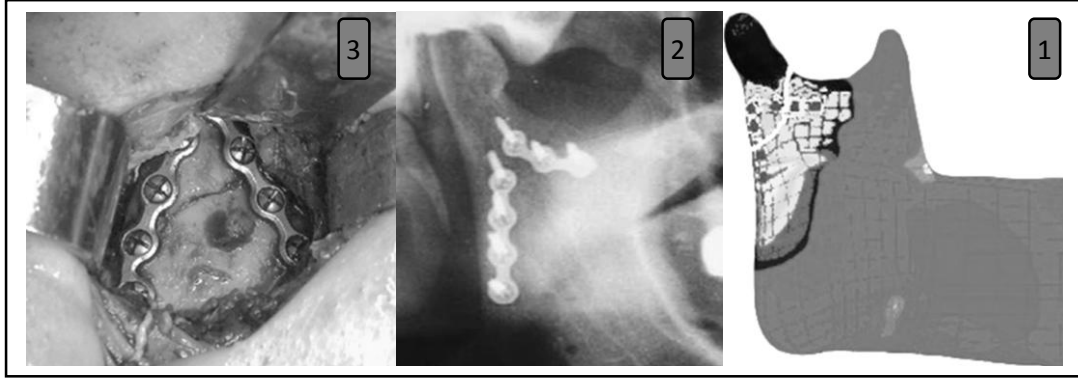
أما في دراسة (Aquilina et al., 2013) فقد تمّ إجراء مقارنة بين ثلاث تقنيات مختلفة في تثبيت كسور لقمة الفك السفلي، تضمنت دراسة ثبات كل من هذه التقنيات الثلاث باستخدام تقنية العناصر المنتهية.

حيث قاموا بنمذجة فك سفلي تضمّن 1.2 مليون عنصر مع تطبيق الجهود العضلية المحاكية لعمل أربع حزم عضلية في كل جانب (الماضغة-الصدغية-الجناحية-الأنسية-الجناحية الوحشية) وتمّ إعطاء المُجسّم خواص العظم الطبيعي (مرونة، قساوة... إلخ)، ثم تمّ إجراء قطع يشابه كسر تحت اللقمة النموذجي وتثبيتته باستخدام ثلاث تقنيات مختلفة (صفحة مستقيمة مفردة-صفيحتين مستقيمتين مسائرتين-صفيحتين مستقيمتين متوازيتين) (الشكل 1-12)، تمّ تثبيت المُجسّم من منطقة أرحاء جانب الكسر وتطبيق القوى العضلية السابقة لمحاكاة تأثير اللقمة الطعامية ومن ثم دراسة مقاومة كل تقنية للجهود المطبّقة، وكانت نتيجة الدراسة أنّ تقنية الصفائح المتوازية كانت أكثر استقراراً وأكثر ملاءمة لتوزيع الإجهادات وانخفضت الحركة بين جزئي الكسر مقارنة مع التقنيات الأخرى المدروسة.



الشكل (1-12): النماذج المدروسة في دراسة (Aquilina et al., 2013)

في دراسة (Parascandolo et al., 2010) قاموا بدراسة مقارنة بين تقنيتين مختلفتين في تثبيت الصلب الداخلي لكسور تحت لقمة الفك السفلي باستخدام تقنية العناصر المنتهية وذلك من خلال نمذجة فك سفلي وتطبيق قوى تحاكي عمل ست حزم عضلية على كل جانب (حيث ميزوا بين الجزء الأمامي والخلفي للعضلة الصدغية والجزء السطحي والعميق للعضلة الماضغة) وتم إجراء قطع يحاكي كسر تحت لقمة الفك السفلي في الجانب الأيمن وتثبيتته باستخدام صفيحة واحدة مستقيمة (في المُجَسَّم الأول) وباستخدام صفيحتين مستقيمتين مسابرتين (في المُجَسَّم الثاني) (الشكل 1-13).



الشكل (1-13): صور (1) FEM، (2) شعاعية، (3) سريرية تظهر تقنية الصفيحتين المسابرتين المفضلة في دراسة (Parascandolo et al., 2010)

وجدت الدراسة أن الصفيحة الأولى (الموازية لمحور اللقمة) أمنت استقراراً متوسطاً أدى إلى ثبات الارتفاع العمودي للرأ ولكن هذه الصفيحة كانت غير قادرة على مقاومة الإجهادات الميكانيكية التي تتشكل عند منطقة اللقمة أثناء تطبيق القوى العضلية وبالتحديد قوى الشد في المستوى الأمامي الخلفي التي تقوم بتحريك قطعة الكسر اللقمية مما يزيد من المسافة بين قطعتي الكسر، لذلك كان لا بد من استخدام صفيحة ثانية تعاكس هذه القوى وذلك بأن توضع بشكل موازي وأسفل الثلمة السينية (الشكل 1-13)، وتقوم هذه الصفيحة بحماية الصفيحة الأولى من التشوه والانكسار تحت القوى المختلفة وتخفيض من معدل الانزياح الثانوي للجزء اللقمي من الكسر.

• 1-5-4- دراسة Abdul Kadir – 2008:

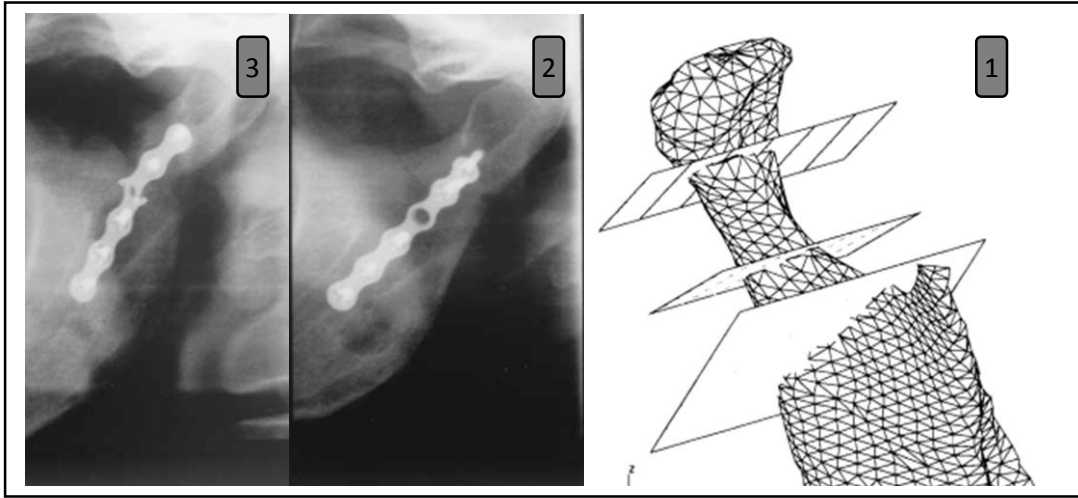
في دراسة (Abdul Kadir et al., 2008) تمّ مقارنة تقنيتين مختلفتين من التثبيت الصلب الداخلي لكسور لقمة الفك السفلي وذلك بإجراء كسر تحت لقمة منخفض على المُجسّم المدروس وتثبيتته بصفيحة مستقيمة ذات أربعة ثقوب بواسطة برغيين على كل جانب (طول 7 مم) وتمّ مقارنة مكانين مختلفين لوضع الصفيحة (المكان الأول موازي للمحور الطولي للقمة والثاني أسفل الثلمة السينية) من حيث الاستقرار والإجهادات الناتجة وتبيّن أنّ الصفيحة المتوضعة بشكل موازي للمحور الطولي للقمة كانت أفضل في توزّع الإجهادات ولكن أقل مقاومة للحركة بين سطحي الكسر مقارنة مع الصفيحة المتوضعة أسفل الثلمة السينية، لذلك من أجل الحصول على الاستقرار الأعظمي لا بدّ من تثبيت صفيحة تحت الثلمة السينية.

• 1-5-5- دراسة Wagner – 2002:

قام (Wagner A, 2002) (الشكل 1-14) بإجراء دراسة مشابهة للدراسة السابقة (تمّ تمثيل عمل ثلاث حزم عضلية فقط الماضغة والصدغية والجناحية الأنسية) إلا أنّهم قاموا بدراسة ثلاثة مستويات لكسور عنق اللقمة (مرتفعة-متوسطة-منخفضة) وأجروا مقارنة بين التثبيت باستخدام صفيحتين مستقيمتين (ستة ثقوب على طول محور اللقمة وأخرى مستقيمة أربعة ثقوب أسفل الثلمة السينية) وباستخدام صفيحة مستقيمة واحدة (ستة ثقوب على طول محور اللقمة)، وذلك تحت تأثير ثلاث وضعيات للمضغ.

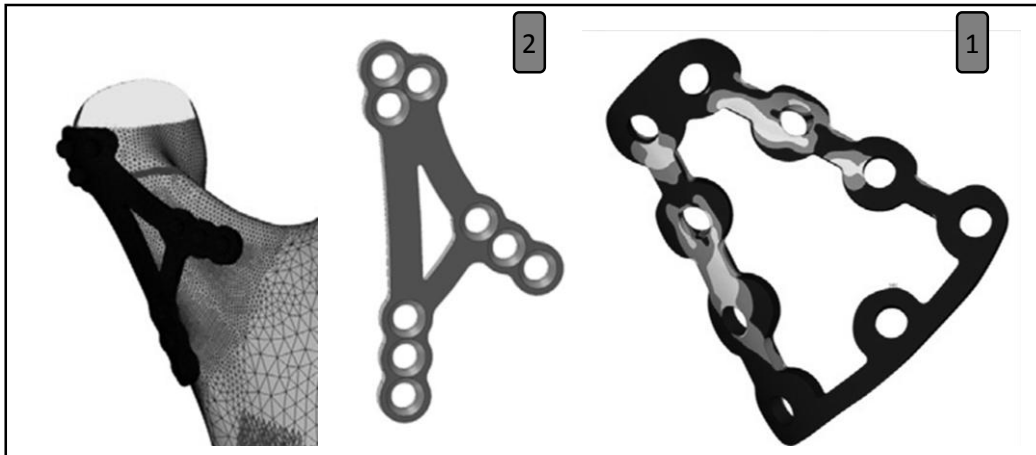
واستنتجوا ما يلي:

- يفضل التثبيت باستخدام صفيحتين بدلاً من التثبيت بصفيحة واحدة منفردة خاصة في الكسور المنخفضة والمتوسطة لعنق اللقمة.
- لوحظ انخفاض في قيم الإجهادات المكافئة المتوزعة في الصفائح عند تثبيت الكسور المرتفعة مقارنة بين القيم في الكسور المنخفضة، وهذا يؤكد الحقيقة العلمية أنّ عظم الإنسان يتأقلم من حيث السماكة والشكل بحسب الإجهادات المترتبة عليه (شكل العنق المخروطي وانخفاض أبعاده العظمية من الأسفل إلى الأعلى).
- يفضل استخدام جبيرة حماية لتخفيف الإطباق وخاصة عند مرضى الدرد الجزئي.



الشكل (14-1): (1) مستويات كسر عنق اللقمة في دراسة (Wagner A, 2002)، (2,3) صور لفشل الصفيحة المستقيمة

في دراسة (Kozakiewicz and Swiniarski, 2013) تمّ دراسة تصميمين من الصفائح لتثبيت الكسور المرتفعة لعنق لقمة الفك السفلي (صفحة بشكل حرف A و صفحة شبه منحرفة ذات تسعة ثقوب) (الشكل 1-15)، حيث تمّ تصميم مُجسّم فك سفلي أُرد ومحاكاة كسر مرتفع لعنق اللقمة وعمل أربعة أزواج من الحزم العضلية بشكل يشابه دراسة (Parascandolo et al., 2010)، وأظهرت النتائج أنّ الإجهادات في الصفحة شبه المنحرفة كانت أكثر ما يكون في الثقوب المتوضعة على خط الكسر والتي شكلت نقطة ضعف في هذه الصفحة وخاصة بأنّ هذه الثقوب لا تحمل براغي (إجهاد حوالي 900 ميغاباسكال)، أما بالنسبة لمقدار الحركة بين جزئي الكسر فكانت أكثر في الصفحة شبه المنحرفة بمعدل ضعف ما هو عليه في الصفحة بشكل A، واستنتجوا إمكانية استخدام الصفحة بشكل A في تثبيت كسور عنق اللقمة في مستوياتها المختلفة وإن ترافقت مع كسور في الناتئ المنقاري.



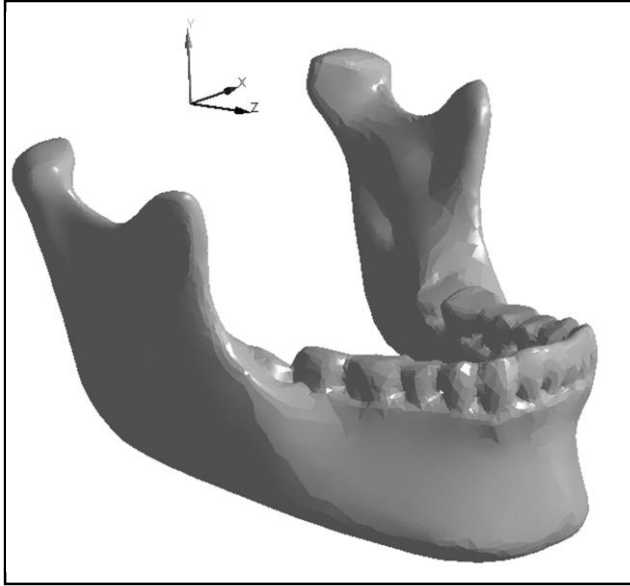
الشكل (1-15): الصفائح المدروسة في دراسة (Kozakiewicz, 2013) (1) صفحة شبه منحرفة (2) و صفحة بشكل حرف A

الباب الثاني:

المواد والطرائق

## 2- الباب الثاني: المواد والطرائق

### 1-2- وصف عينة الدراسة



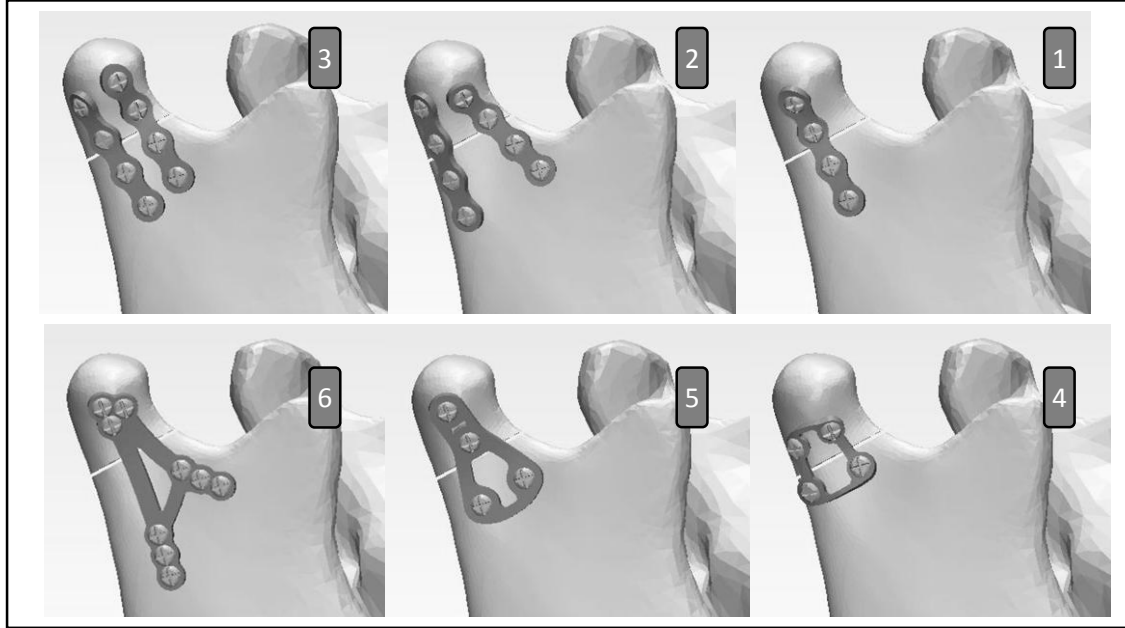
الشكل (1-2): النموذج الشاهد

هذه الدراسة دراسة رقمية محوسبة اعتمدت في استخلاص النتائج على تقنية العناصر المنتهية، وأُجريت الدراسة على 12 نموذج يحاكي الفك السفلي المصاب بكسر عنق لقمة أيمن ومثبت بتقنيات تثبيت مختلفة، إضافة لنموذج شاهد لم يتم إجراء أي كسر عليه وتم الاستفادة منه في مقارنة بعض النتائج (الأشكال 2-1، 2، 3، الجدول 1-2).

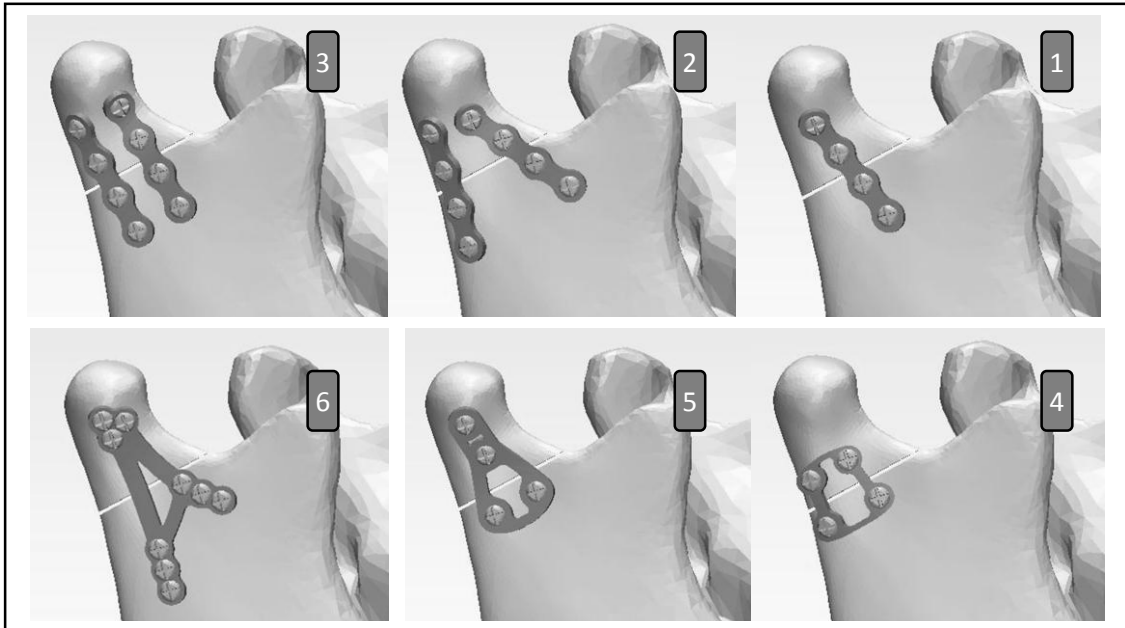
الجدول (1-2): مجموعة الدراسة والنماذج النهائية.

| المجموعة<br>التقنية | م كسر عنق لقمة متوسط                    | س كسر عنق لقمة سفلي |
|---------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| 1 صفيحة             | تقنية الصفيحة المستقيمة الواحدة         |                     |
| 2 مسابرتين          | تقنية الصفيحتين المستقيمتين المسابرتين  |                     |
| 3 متوازيتين         | تقنية الصفيحتين المستقيمتين المتوازيتين |                     |
| 4 شبه منحرفة        | تقنية صفيحة TCP                         |                     |
| 5 دلتا              | تقنية صفيحة بشكل دلتا                   |                     |
| 6 A                 | تقنية صفيحة بشكل حرف A                  |                     |

تمّ تقسيم النماذج 12 بحسب مستوى الكسر إلى مجموعتين أساسيتين: مجموعة كسر عنق لقمة متوسط (م) ومجموعة كسر عنق لقمة سفلي (س)، ومن ثمّ قسّمت كل مجموعة إلى ست مجموعات فرعية (1، 2، 3...) بحسب تقنية التثبيت (جدول 1-2).



الشكل (2-2): النماذج الستة الخاصة بمجموعة كسر عنق اللقمة المتوسط (م)



الشكل (3-2): النماذج الستة الخاصة بمجموعة كسر عنق اللقمة السفلي (س)

• 2-1-1- مواصفات النماذج:

تماثلت النماذج الثلاثة عشر تماماً في جميع المتغيرات عدا مستوى الكسر وأماكن إدخال البراغي وذلك باختلاف تقنية التثبيت.

كلّ نموذج كان عبارة عن مُجسّم ثلاثي الأبعاد افتراضي مصمت غير متجانس Non-homogeneous وذو استجابة مرنة Elastic متماثلة تجاه القوى الخارجية في الاتجاهات المختلفة Isotropic، وتمّ تجزئة النماذج إلى عناصر ذات بنية هرمية رباعية الوجوه TET4 رباعية العقد، واحتوى كل نموذج على عدد عناصر أكثر من 219000 وعدد عقد لا يقل عن 43000 (جدول 2-2).

الجدول (2-2): عدد العناصر والعقد في النماذج النهائية.

| النموذج | الكسر المتوسط (م) |             | الكسر السفلي (س) |             |
|---------|-------------------|-------------|------------------|-------------|
|         | عدد العقد         | عدد العناصر | عدد العقد        | عدد العناصر |
| 1       | 43711             | 219200      | 44823            | 223374      |
| 2       | 50162             | 239965      | 50037            | 240062      |
| 3       | 49392             | 238593      | 50052            | 240224      |
| 4       | 44885             | 226812      | 43112            | 224723      |
| 5       | 43041             | 224338      | 43772            | 227893      |
| 6       | 50625             | 259197      | 50963            | 260599      |

## 2-2- المواد :Materials

وكون البحث محوسب فاعتمد في مواده على تجهيزات Hardware وبرمجيات Software:

### • 1-2-2- التجهيزات Hardware

حاسب شخصي ذو مواصفات عالية من نوع (Sony Vaio) بمواصفات:

- Processor: Intel Core i5-2430 M 2.40 GHz  
with Turbo Boost up to 3.00 GHz.
- RAM: 4 GB.
- Operating System Win 7 Home Premium (64-bit).

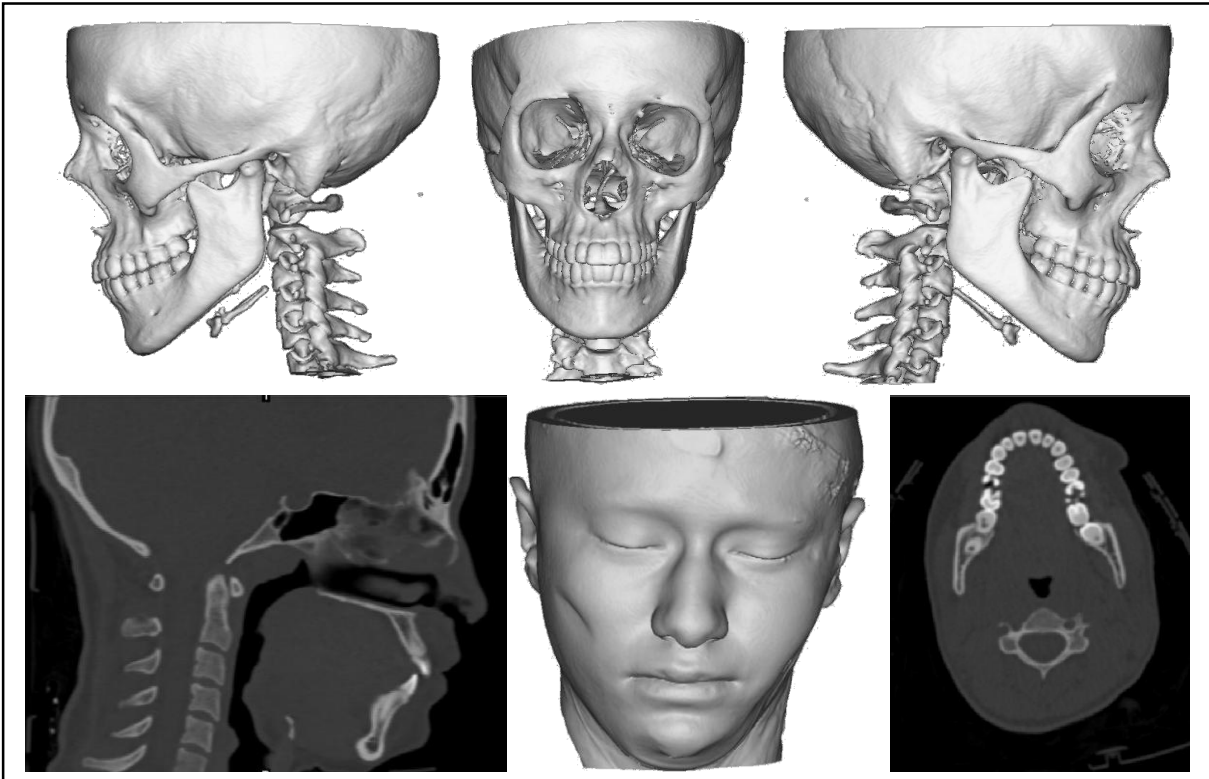
ملحقات الحاسب الآلي: الفأرة - الأقراص المدمجة CD - DVD.

### • 2-2-2- البرمجيات Software

- صورة شعاعية مقطعية CT (الصورة المرجعية) (الشكل 4-2).
- برنامج Mimics إصدار رقم 17.
- برنامج Solidworks إصدار عام 2015 لنمذجة العناصر المثبتة.
- برنامج Photoshop CS5 ME لتعديل الصور المرجعية للمثبتات.
- برنامج Ansys إصدار رقم 15.
- برنامج 3-Matic إصدار رقم 9.
- برنامج Microsoft Office (Word - Excel) إصدار عام 2013.
- برنامج Endnote إصدار (X7).
- برنامج Autocad لرسم أبعاد وقياسات نهائية دقيقة للمثبتات.

• 2-2-2-1- مواصفات الصورة الشعاعية المرجعية

- جنس المريض: أنثى.
- العمر: 18 سنة.
- نوع جهاز التصوير: SIEMENS SOMATOM Definition AS+
- الكثافة الشعاعية: 120 كيلو فولط.
- نوع المقاطع: أفقية Axial.
- سماكة المقطع (المسافة بين كل شريحتين): 0.6 مم.
- عدد المقاطع الكلّي للصورة (بعد الاقتصاص): 163 مقطع.



الشكل (4-2): إعادة بناء لبيانات الصورة الشعاعية المرجعية

## 2-3- الطرائق Methods

في نهاية هذا الباب حصلنا على 12 نموذج ثلاثي الأبعاد تحاكي كل منها فك سفلي مع كسر عنق لقمة مثبت باستخدام صفائح وبراعي بتقنيات مختلفة (جدول 2-1) مع تطبيق الشروط الحدية إضافة للنموذج الشاهد، وذلك لإجراء الحسابات واستخلاص النتائج.

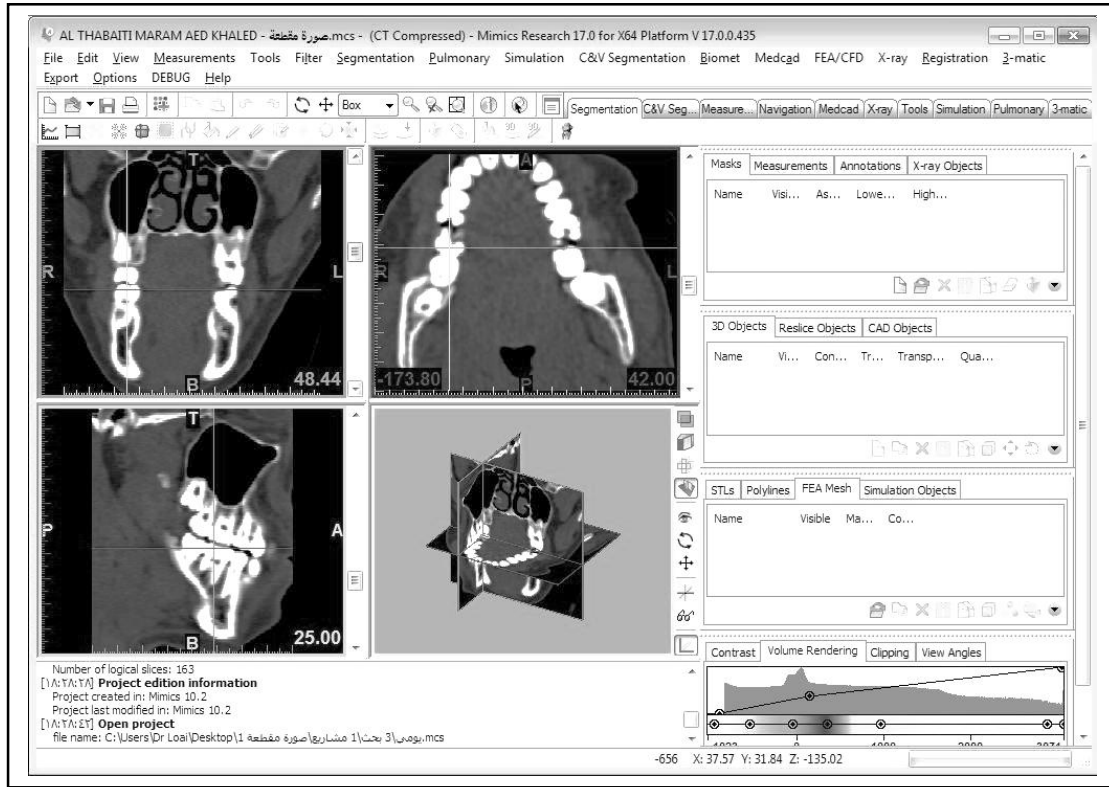
### 2-3-1- بناء النموذج Building of Geometry

وتَمّ في هذه المرحلة الحصول على المُجسّمات النهائية بخواصها المتكاملة بحيث تكون المُجسّمات جميعها متماثلة في كل المتغيرات عدا المتغير المدروس (تقنية التثبيت).

#### • 2-3-1-1- نمذجة الفك السفلي

أ- قراءة المقاطع الشعاعية: حيث تكون نقطة الانطلاق من الصور الشعاعية المقطعية التي يتم فتحها باستخدام برنامج Mimics (الشكل 2-5)، وذلك من خلال عملية New Project Wizard الموجودة في البرنامج.

ب- اقتصاص الصورة: حيث نحدّد منطقة الدراسة التي تضم الفك السفلي كاملاً وذلك من خلال عملية Crop Project الموجودة في خيارات الملف File، وهذا يساعد في تخفيض حجم الذاكرة المستخدمة وبالتالي سرعة في أداء البرنامج واختصار للوقت المستغرق في العمليات المختلفة وخاصة التعديلات على النافذة ثلاثية الأبعاد.



الشكل (2-5): واجهة البرنامج MIMICS بعد قراءة المقاطع الشعاعية

ج- **التحديد التلقائي:** وذلك باستخدام عملية التعتيب Thresholding الموجودة في

خيارات التجزئة Segmentation واختيار الكثافات المناسبة تجريبياً بحيث

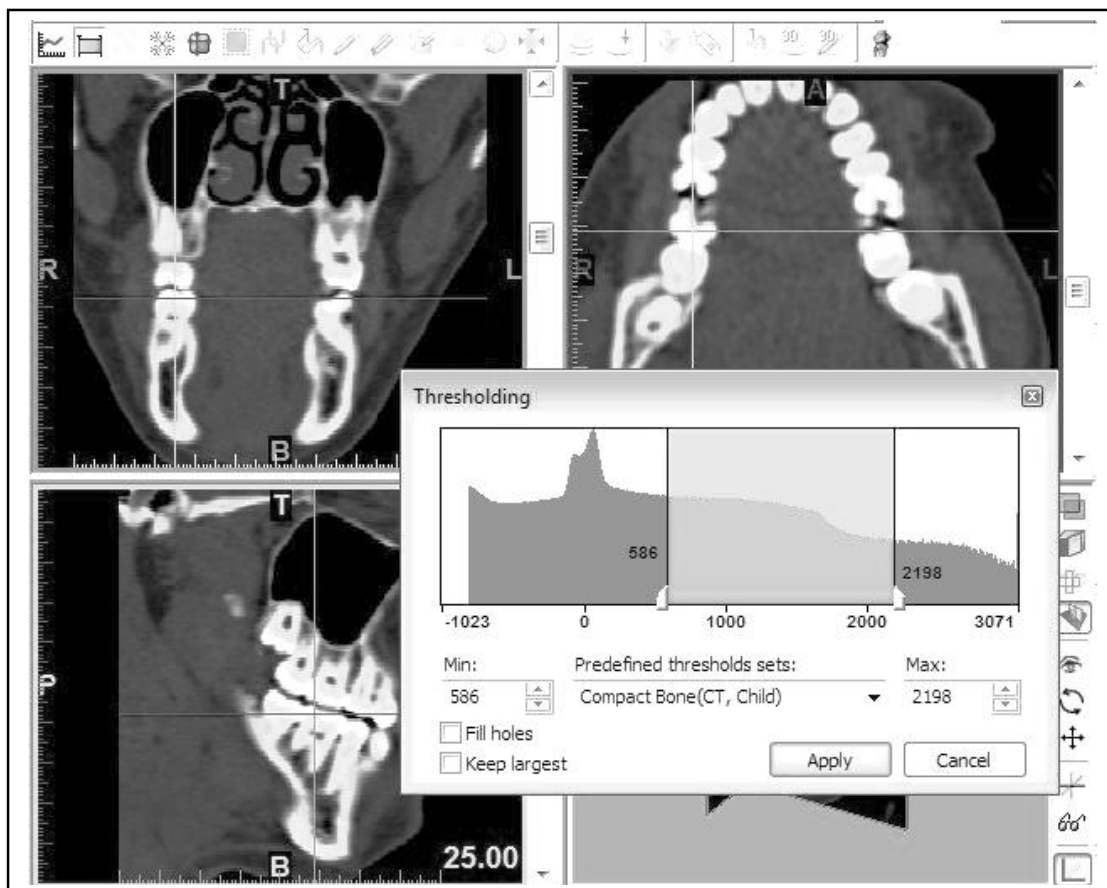
نحصل على أفضل نتيجة لمقاربة السطح الخارجي للفك السفلي قدر الإمكان

(الشكل 2-6)، وفي نهاية هذه الخطوة نحصل على قناع Mask ذو لون

خاص يشمل جميع النقاط في الصورة التي تكون كثافتها المحصورة بين العتبتين

المختارتين ، ونلاحظ أن القناع يحوي جزءاً كبيراً من عظم الفك السفلي إضافة

لعناصر أخرى لا تهتمنا في هذا البحث.



الشكل (2-6): التحديد التلقائي باستخدام التعتيب Thresholding بعد إجراء الاختصاص للصورة

- د- حذف العناصر غير الهامة: تم تحويل القناع إلى نموذج 3D من خلال عملية Calculate 3D، وبعد ذلك تم استثناء جميع المكونات خارج الفك السفلي (وهي أسنان وعظم الفك العلوي وعظام الفقرات والعظم اللامي) وذلك:
- 1- باستخدام التعديل اليدوي على النموذج ثلاثي الأبعاد (باستخدام عملية تعديل القناع على النموذج Edit mask in 3D) حيث تم إزالة تحديد الأجزاء غير المرغوب بها من النموذج وبالتالي من القناع الموافق تلقائياً.
  - 2- وباستخدام التعديل اليدوي على شرائح المستويات الثلاثة (باستخدام عمليتي التعديل المفرد Edit Masks والمتعدد Multiple Slice Edit) حيث يمكن إضافة النقاط المرغوبة وإزالة النقاط غير المرغوبة وهذا التعديل يكون على القناع مباشرة، وهذا التعديل تم إجراؤه على كل الشرائح في جميع المستويات.

ومن ثمّ تمّ التأكد من أن التحديد النهائي للقناع قد شمل كامل بنية الفك السفلي والأسنان دون ما سواها من البنى المجاورة، وتمّ استخدام طريقة خاصة لعزل الفك السفلي عن المجاورات (انظر الفقرة م-3).

هـ- إغلاق الثقوب وملء الفراغات: وقد أغلقت الثقوب (الثقبتين الذقنيتين وثقبتي الفك السفلي) باستخدام التعديل اليدوي على الشرائح، وملئت الفراغات داخل الفك السفلي بحيث تصبح جميع البنى الداخلية للفك محدّدة ضمن القناع النهائي وذلك باستخدام طريقة خاصة (انظر الفقرة م-3).

و- تنعيم السطوح وإنهاؤها: وهذه المرحلة هامة لتسهيل الخطوات اللاحقة إذ تمّ إزالة النقاط الحادة التي تؤدي لمشاكل تالية، وتقوم بتحسين شكل النموذج من خلال عملية التنعيم Smoothing ولكن يجب الانتباه لعدم زيادة عدد مرات التنعيم أو حدته وذلك لكي تبقى المعالم التشريحية واضحة ولا يتأثر الشكل النهائي.

ز- تحديد أماكن المراكز العضلية والسطوح المفصليّة والإطباقية: حيث تمّ تحديد السطوح أولاً من خلال برنامج 3-Matic ومن ثمّ إعطاء السطوح خواصها في برنامج ANSYS.

ومن أجل اختيار السطوح وتمييزها عن السطوح الأخرى تمت الاستفادة من عمليات تحديد المساحات الربقي Lasso Area Mark ومن ثمّ تنعيم حواف السطح من خلال عملية Smooth Marking Border وكلا العمليتين في قائمة التحديد Mark، وبعد ذلك إعطاء كل مساحة اسم العضلة الموافقة لها، وبذلك أصبح بالإمكان استخراج السطوح العضلية والمفصليّة بشكل سطوح عقدية Node Surface إلى برنامج ANSYS وتوحيد هذا المتغيّر بين المُجسّمات المختلفة وهذه خطوة مبتكرة في هذا البحث.

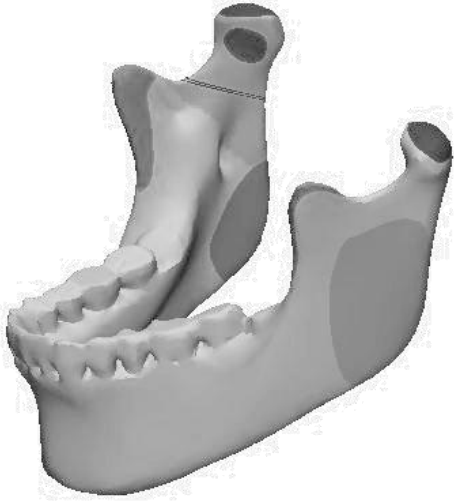
بالنسبة للحزم العضلية: فقد تمّ تحديد أماكن ارتكاز سبعة أزواج من الحزم العضلية (الجدول 3-2) وذلك بالاعتماد على المراجع التشريحية المعتمدة (الشكل 1-1) (Koriath and Hannam, 1994).

الجدول (3-2): المركبات الثلاثة للحزم العضلية التي تمّت محاكاتها في هذه الدراسة (Koriath and Hannam, 1994)

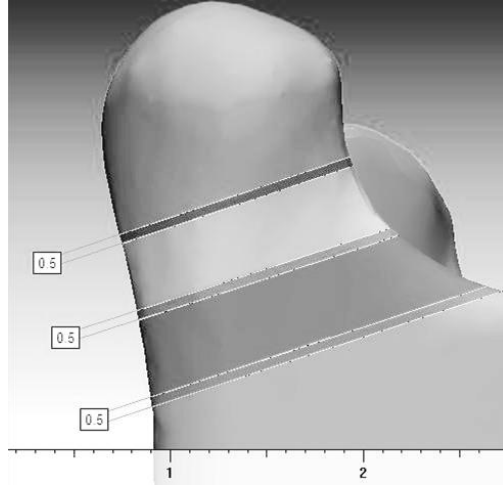
| الجانب الأيسر |       |       | الجانب الأيمن |       |       |               |                     |
|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|---------------------|
| z             | y     | x     | z             | y     | x     |               |                     |
| 57.4          | 121.2 | 28.4  | 47.9          | 101.0 | -23.6 | الجزء السطحي  | العضلة<br>الماضغة   |
| -21.0         | 44.5  | 32.1  | -17.5         | 37.1  | -26.7 | الجزء العميق  |                     |
| 5.1           | 114.0 | 17.2  | 4.0           | 90.5  | -13.7 | الجزء الأمامي | العضلة<br>الصدغية   |
| -31.5         | 52.8  | 14.0  | -32.0         | 53.6  | -14.2 | الجزء المتوسط |                     |
| -38.1         | 21.1  | 9.3   | -25.2         | 14.0  | -6.1  | الجزء الخلفي  |                     |
| 54.8          | 116.1 | -71.4 | 39.1          | 83.0  | 51.0  | الأنسية       | العضلة<br>الجاناحية |
| 15.2          | -3.5  | -12.6 | 32.9          | -7.6  | 27.4  | الوحشية       |                     |

أما السطوح المفصالية فقد تمّ تقييد حركة السطح العلوي لكل رأس لقمة لمحاكاة الارتباط مع القرص المفصلي فيما بعد (Kozakiewicz and Swiniarski, 2014)، والسطح الإطباقي تمّت محاكاته من خلال تقييد حركة السطح الإطباق للرحى الأولى السفلية اليسرى وهذا يحاكي المضغ على الجانب المعاكس للكسر (Aquilina et al., 2013).

ح- **محاكاة الكسر:** وبعد الحصول على مُجسّم موحد لجميع الحالات تمّ إجراء محاكاة للكسر في مستويين (متوسط وسفلي)، وهذه الخطوة تمّت في برنامج 3-Matic باستخدام عملية إنشاء المستويات Create datum plane الموجودة في قائمة التحليل Analyze وذلك بعد إجراء القياسات المطلوبة لتحديد المكان المثالي للكسر اعتماداً على تصنيف (Krenkel, 1997) حيث تمّ إنشاء مستويين في المكان المناسب يفصل بينهما مسافة 0.5 مم، ومن ثمّ حذف السطوح المحصورة بين هذين المستويين (الشكل 2-7)، وأجريت كلّ القطوع على اللقمة اليمنى.



الشكل (8-2): النموذج السطحي النهائي على برنامج 3-Matic



الشكل (7-2): تحديد مستويات القطع على النموذج

في نهاية هذه الخطوة حصلنا على نموذج ثلاثي البعد (عبارة عن قشرة رقيقة) يحاكي الفك السفلي بكل تفاصيله الشكلية الدقيقة مع كسر في الجانب الأيمن إضافة لأماكن ارتكاز العضلات وتثبيت اللقم والسطح الإطباق (الشكل 8-2).

### • 2-1-3-2- نمذجة الصفائح والبراغي

وهذه الخطوة تمت باستخدام برنامج Solid Works وذلك وفق ما يلي:

#### 1- تصميم الصفائح ونمذجتها:

أ- استيراد الصور المرجعية لتصميم أجهزة التثبيت: وذلك بعد حفظ الصور من خلال برنامج Photoshop في ملفات ذات لاحقة (.psd) واستيرادها إلى برنامج Solid Works كدليل للتصميم الهندسي وذلك بعد إعطاء الصورة الأبعاد الحقيقية للمثبتة، الشكل (9-2) يوضح الصور المرجعية التي تم الاستفادة منها للنمذجة (Lauer et al., 2007b, Meyer et al., 2007, Kozakiewicz and Swiniarski, 2014).



ج- إعطاء التصميمات سماكات وتحويلها إلى مُجسّمات ثلاثية الأبعاد: وذلك باستخدام

عملية البثق Boss Extrude وإعطاء الصفائح سماكة 1 مم.

د- شطب زاوية الثقب مع السطح الخارجي للصفحة: وذلك باستخدام عملية الشطب

Chamfer بزاوية 45° ومسافة 0.5 مم.

هـ- التعديل النهائي على الصفائح (تكيفها): حيث تم إجراء عملية ثني Warping

or Bending لكل صفيحة حتى تساير السطح الخارجي للكمة المكسورة وذلك بما

يشابه ما يتم في العملية الجراحية، من خلال عملية الثني (Flex) الموجودة في

نفس البرنامج، حيث تم تصدير سطوح تمثل مسقط هذه المثبتات على سطح الكمة

باستخدام برنامج 3-Matic ومن ثم إجراء تقريب للانحناء في الصفيحة بما يساير

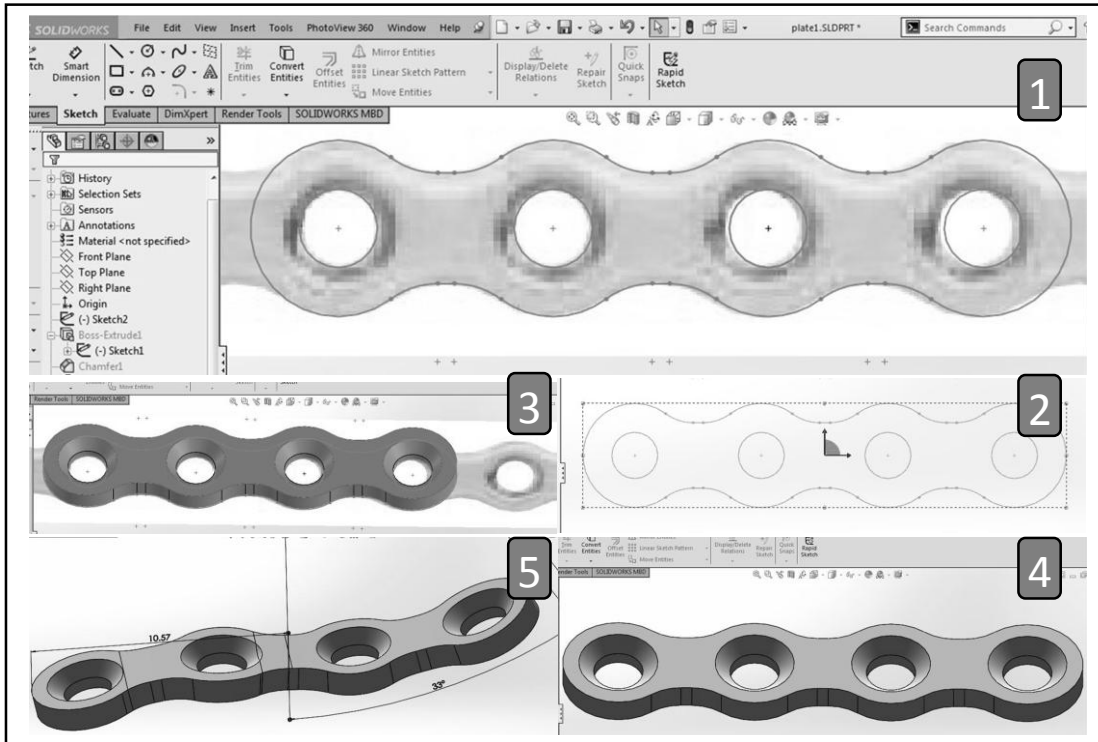
هذا السطح، الشكل (2-10) يوضّح مراحل تصميم الصفيحة المستقيمة وثنيها،

الشكل (2-11) يوضّح مراحل رسم وتصميم الصفيحة ذات شكل دلتا، والشكل (2-12)

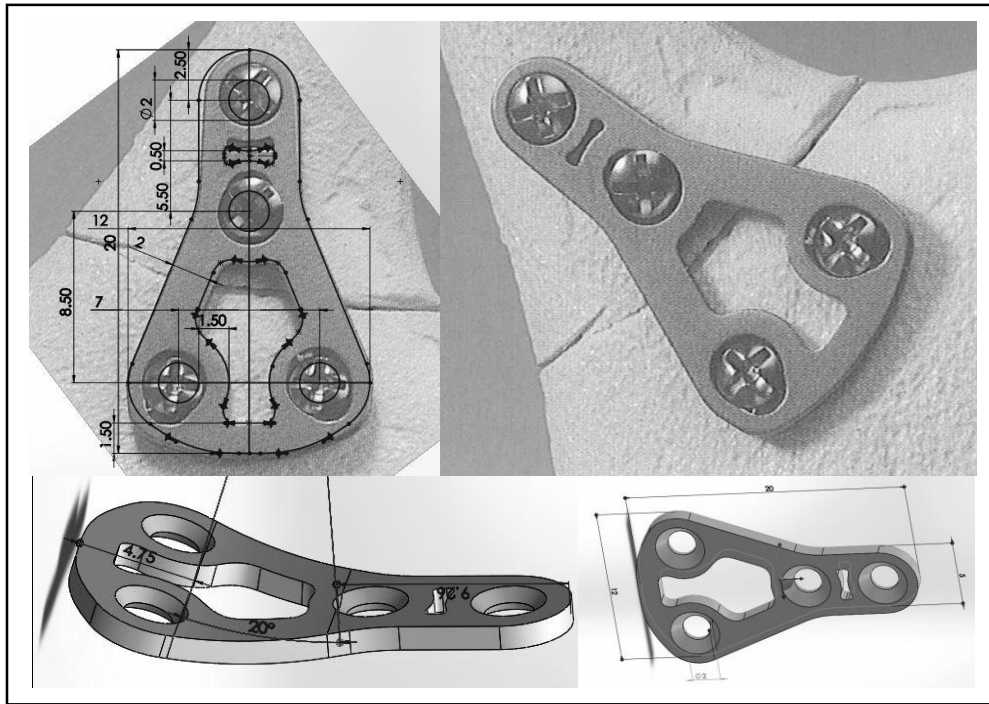
(2-12) يوضّح مراحل تصميم الصفيحة شبه المنحرفة، الشكل (2-13) يوضّح مراحل

وضع الصفائح في تقنية الصفيحتين المسائرتين، والشكل (2-14) يوضّح طريقة

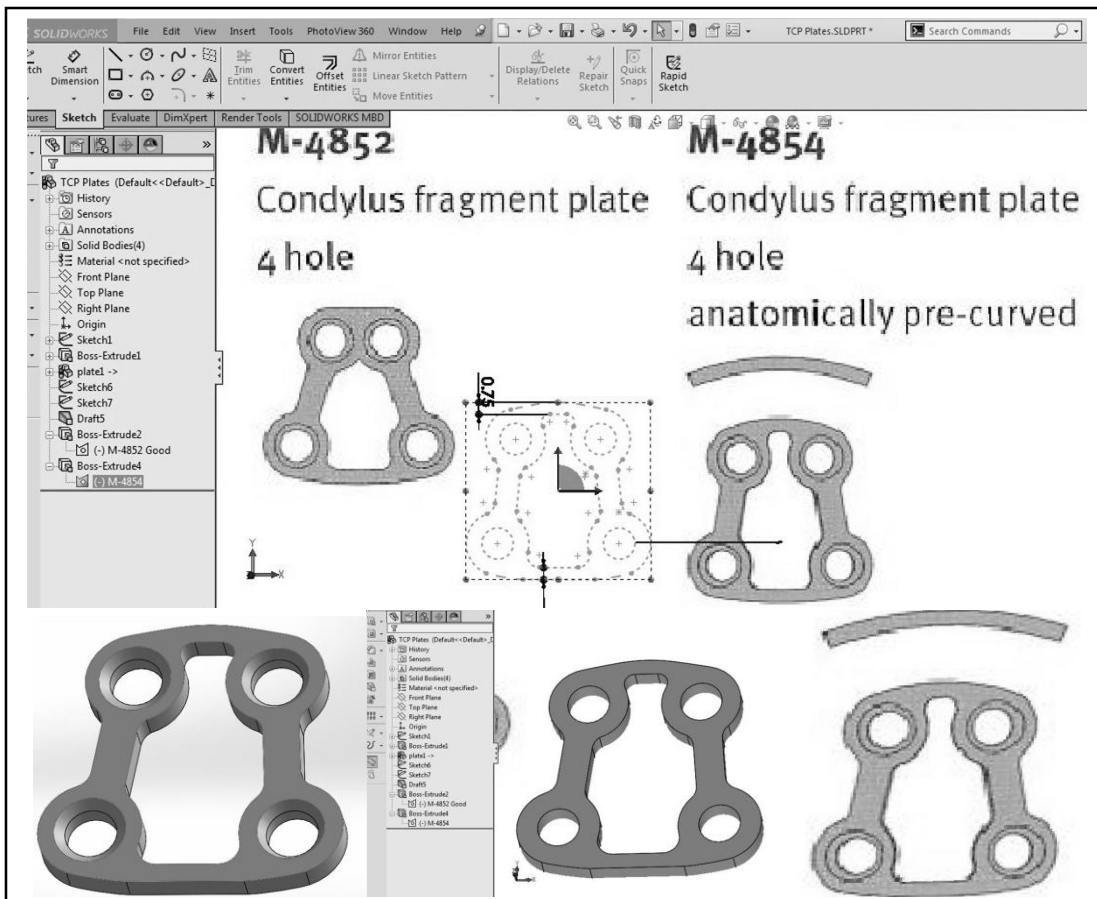
ثني الصفيحة شبه المنحرفة باستخدام خاصية Flex.



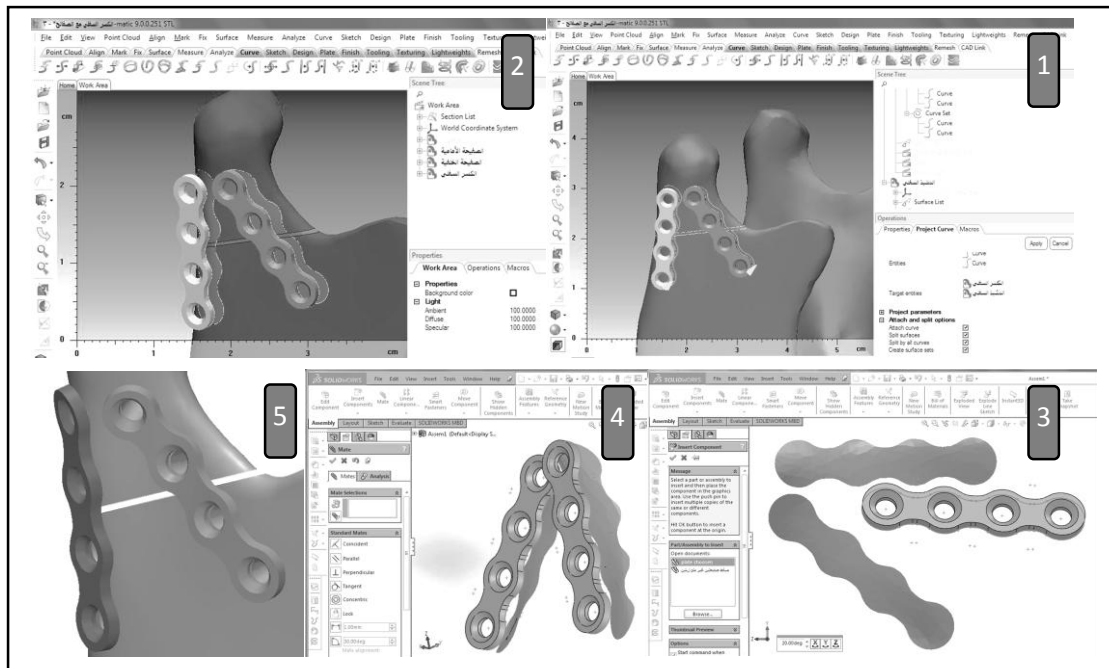
الشكل (2-10): مراحل تصميم الصفيحة المستقيمة وثنيها باستخدام برنامج (Solid Works) (بالترتيب)



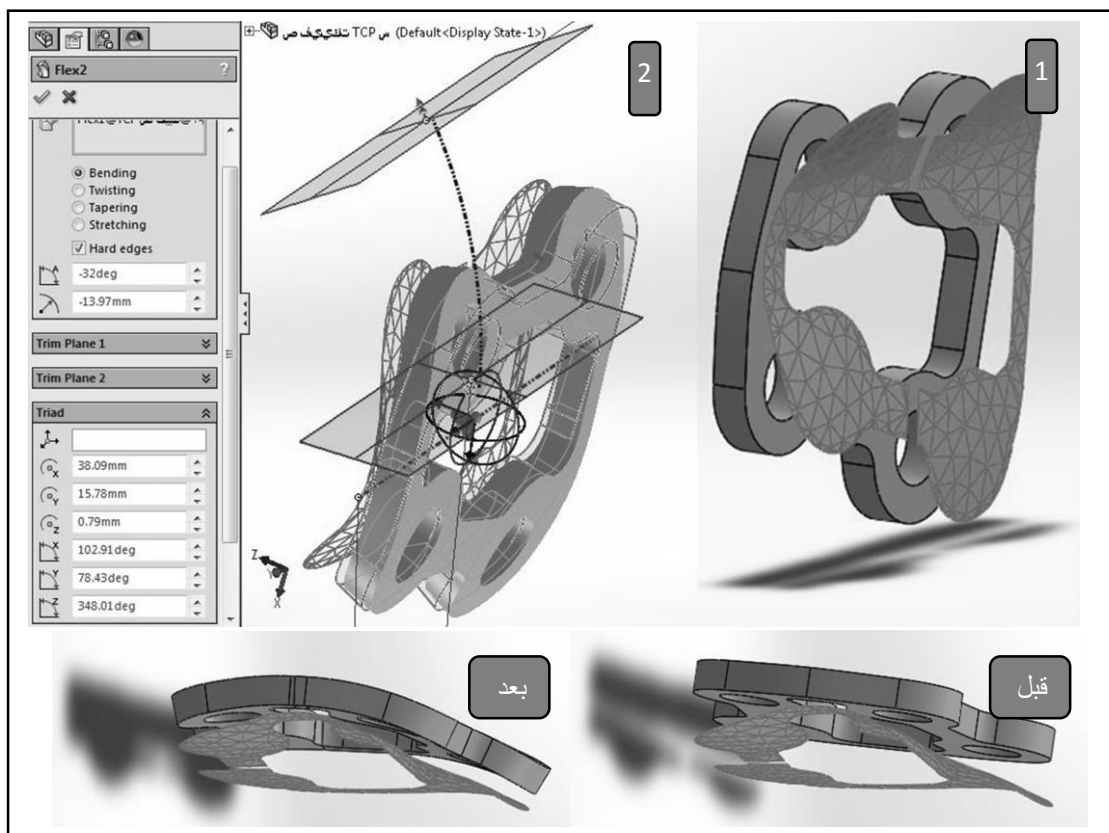
الشكل (11-2): مراحل تصميم صفيحة الدلتا باستخدام برنامج (Solid Works)



الشكل (12-2): مراحل تصميم الصفيحة شبه المنحرفة باستخدام برنامج (Solid Works)



الشكل (2-13): وضع الصفائح في مكانها وتثبيتها (الصفائح المسيرتين) باستخدام برنامجي Solid Works و Matic-3

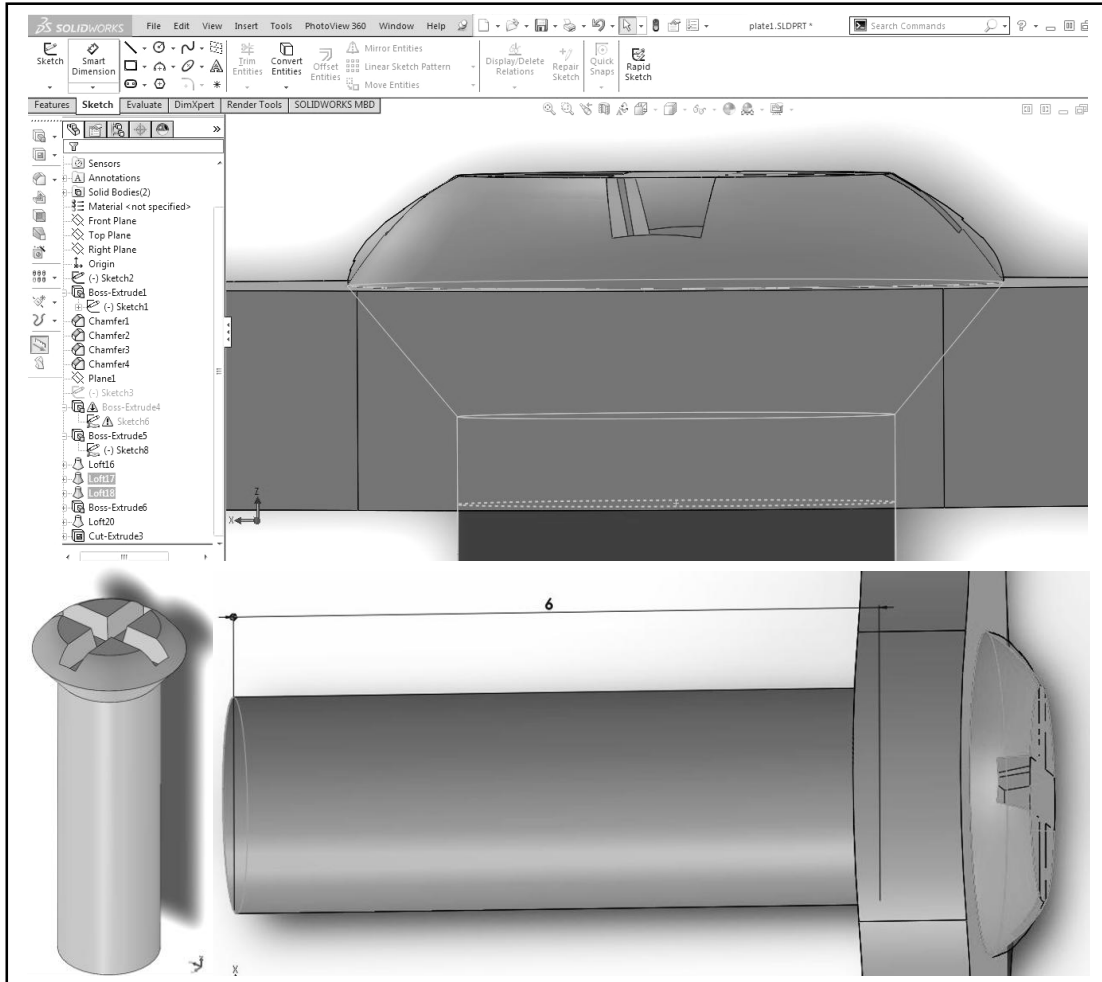


الشكل (2-14): طريقة ثني الصفائح شبه المنحرفة باستخدام خاصية Flex في برنامج Solid Works

## 2- تصميم البرغي ونمذجته:

وتمّ الاعتماد على المعايير العامة للبراغي وهو عبارة عن جزء عامل بشكل أسطوانة (قطر 2 مم وطول 6 مم) إضافة لجزء يلامس الصفيحة بارتفاع 1 مم (0.5 مم أسطواني و0.5 مم بشكل جذع مخروط)، وجزء غير عامل بارتفاع 0.5 مم (الشكل 2-15).

وقد تمّ تجاهل حلزنة البراغي وذلك وفق ما أشارت إليه دراسات سابقة ( de Jesus et al., 2014) إذ تؤدي الحلزونات لظهور نتائج مشوّهة بالإضافة للجهد والوقت الإضافيين دون جدوى تُذكر.



الشكل (2-15): شكل البرغي وأبعاده وطريقة تصميمه في برنامج Solid Works

واسْتُفِيدَ لتصميم البرغي من أداة رسم الدائرة ومن عمليات التبريز Feature المختلفة (البثق Boss Extrude، التعريض Loft، الإزالة Cut Extrude).

وفي النهاية تمّ حفظ البيانات وتصديرها إلى ملفات بصيغة (STL) بحيث يمكن استيرادها بسهولة إلى برنامج 3-Matic.

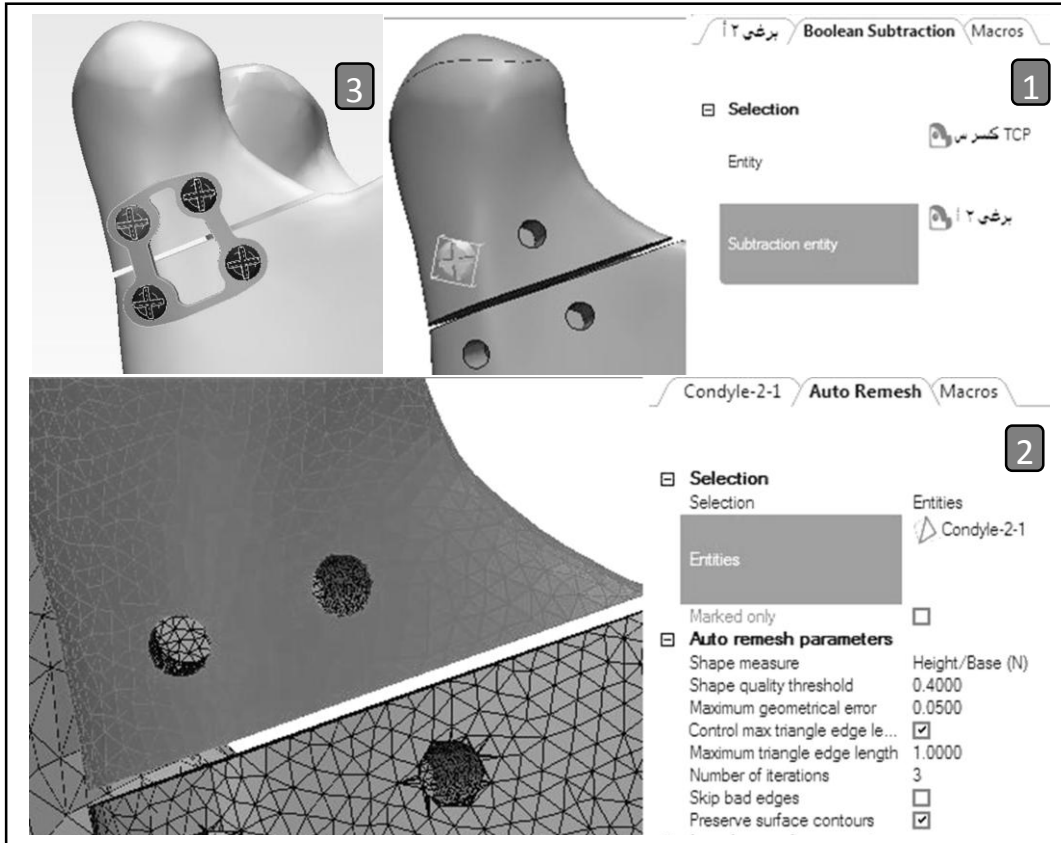
## 2-3-2- وضع المثبتات على نموذج الفك السفلي

أ- استيراد البيانات: تمّ جمع النماذج (الفك والصفحة والبرغي) في ملف واحد من برنامج 3-Matic وذلك من خلال عملية الاستيراد Import الموجودة في قائمة ملف File للبرنامج.

ب- وضع الصفائح في مكانها المناسب على اللقمة: واستخدم لذلك عمليات الرصف المختلفة (التحريك Translate، التدوير Rotate) الموجودة في قائمة الرصف Align (الشكل 2-13).

ج- وضع البراغي ضمن ثقب الصفحة: ولتسهيل هذه العملية وجعلها دقيقة تمّ تشكيل منحنيات للبنية الهندسية الخارجية للصفحة والبرغي باستخدام عملية إنشاء المنحنيات Create Geometry Curve (في قائمة المنحنيات Curve)، ومن ثمّ رصف القطر الأعظمي لرأس البرغي مع القطر الأعظمي لشطب الصفحة باستخدام عملية رصف قوس على قوس Arc to Arc Align وبالتالي يصبح هناك تماس صميمي بين البرغي والثقب وتصبح البراغي جميعها عمودية على السطح الخارجي للصفحة وبالتالي السطح الخارجي للعظم.

د- حذف التقاطعات بين البراغي والفك (الشكل 2-16): وذلك باستخدام عملية الطرح Boolean subtraction في قائمة التصميم Design، ويفضّل في نهاية هذه المرحلة إعادة عمليات التجزئة التلقائية Auto Remesh والدقة Quality Preserving وتصحيح الأخطاء Fix Wizard وذلك على نموذج الفك للتأكد من خلوّه من الأخطاء.



الشكل (2-16): حذف التقاطعات مع البراغي وتنعيم السطوح ووضع الصفيحة في مكانها المناسب

### 2-3-3- تجزئة النماذج إلى عناصر منتهية:

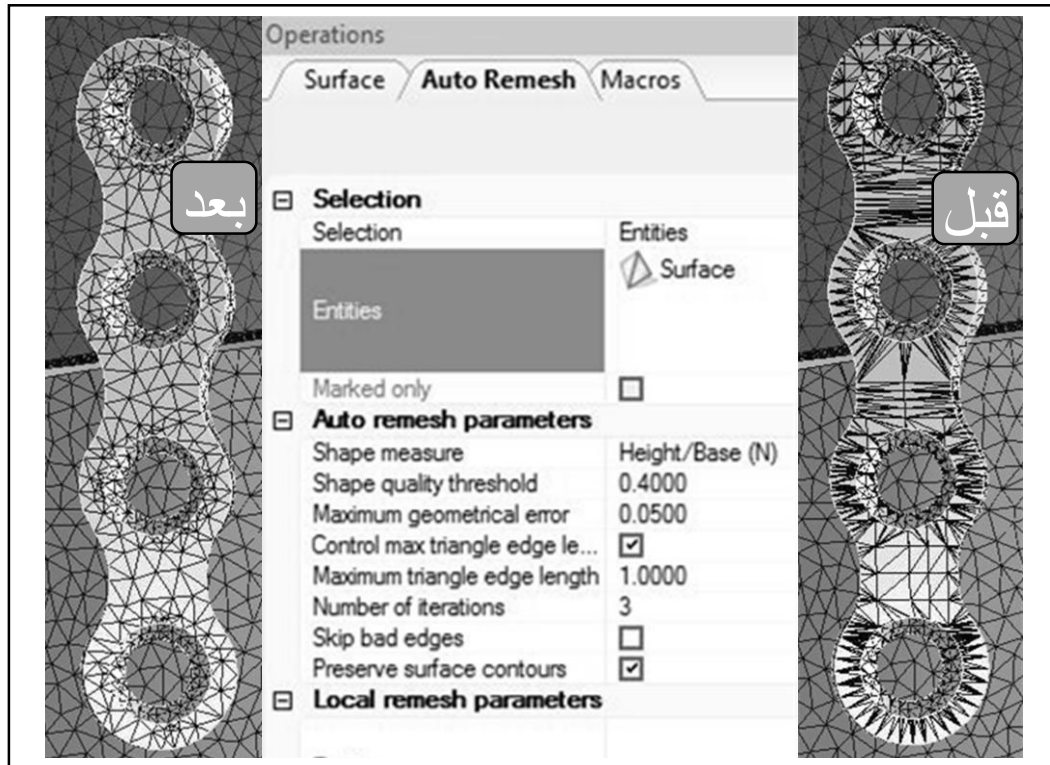
والبرنامج الأساسي في هذه الخطوة هو برنامج 3-Matic وفق ما يلي:

أ- استيراد البيانات: ويمكن أن يتم من خلال برنامج MIMICS باستخدام عملية التجزئة Remesh الموجودة في خيارات تحليل العناصر المنتهية FEA/CFD وبالتالي يفتح البرنامج بشكل تلقائي، أو من خلال حفظ المشروع وفتحه بشكل مستقل في برنامج 3-Matic.

ب- تجزئة المُجسّم: وفي هذه المرحلة تمّ تحويل القناع إلى أجزاء من العناصر المثلثية من خلال عدة عمليات:

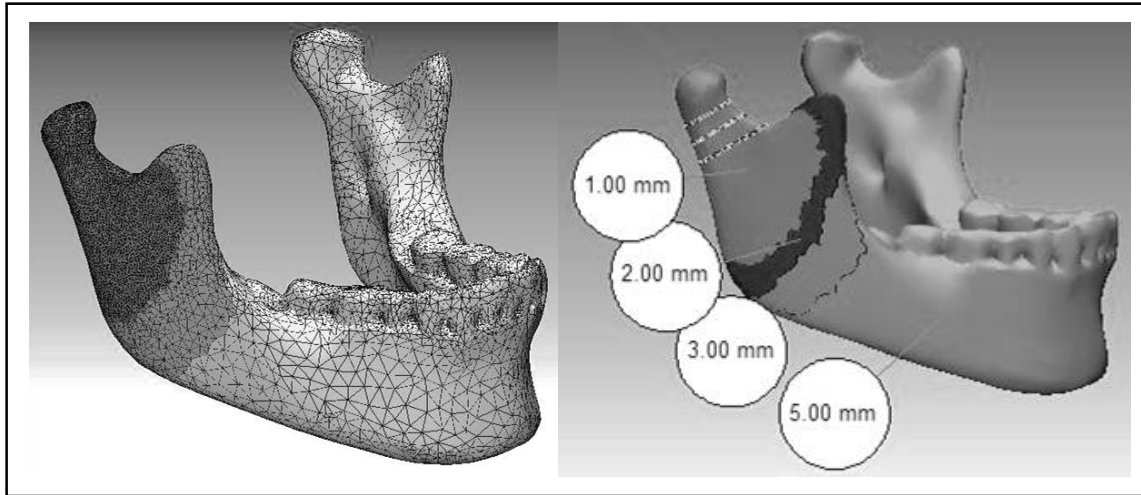
- حيث استخدمت عملية الإنقاص Reduce من برنامج 3-Matic التي تقوم بتقليل عدد العناصر دون التأثير على الشكل وهذا يحسّن الأداء ويسرع عملية استخلاص النتائج، ويمكن التحكم بحجم العناصر وشكلها.
- وأجريت الاختبارات على النموذج باستخدام عملية Inspection وذلك للتأكد من تناسق وتجانس العناصر فيما بينها في الحجم.

- بعد ذلك استخدمت عملية التجزئة التلقائية Auto Remesh ويمكن من خلالها التحكم بمساحات العناصر المثلثية، واختيرت أطوال أضلاع المثلثات بحيث لا تتجاوز 1 مم في المثبتات المختلفة (الشكل 2-17)، أما في نموذج الفك فقد استخدمت مساحات عناصر مختلفة بحسب الموقع حيث لا يتجاوز طول ضلع العنصر 1 مم في مكان الدراسة (اللقمة اليمنى وحول المثبتات) و2 مم في باقي الرأ و3 مم في منطقة الزاوية و5 مم في باقي أجزاء الفك باعتباره من العظام الطويلة (الشكل 2-18).



الشكل (2-17): التجزئة التلقائية (Auto remeshing) للصفحة

وهذا المزج بين الحجم المختلفة مفيد في الحصول على الدقة في النتائج في مكان الدراسة (من خلال زيادة عدد العناصر وتصغير حجمها) وتوفير الجهد والوقت (من خلال تقليل العدد وزيادة الحجم) وكذلك اختيرت هذه الطريقة في دراسة ( Abdul Kadir et al., 2014, de Jesus et al., 2008).

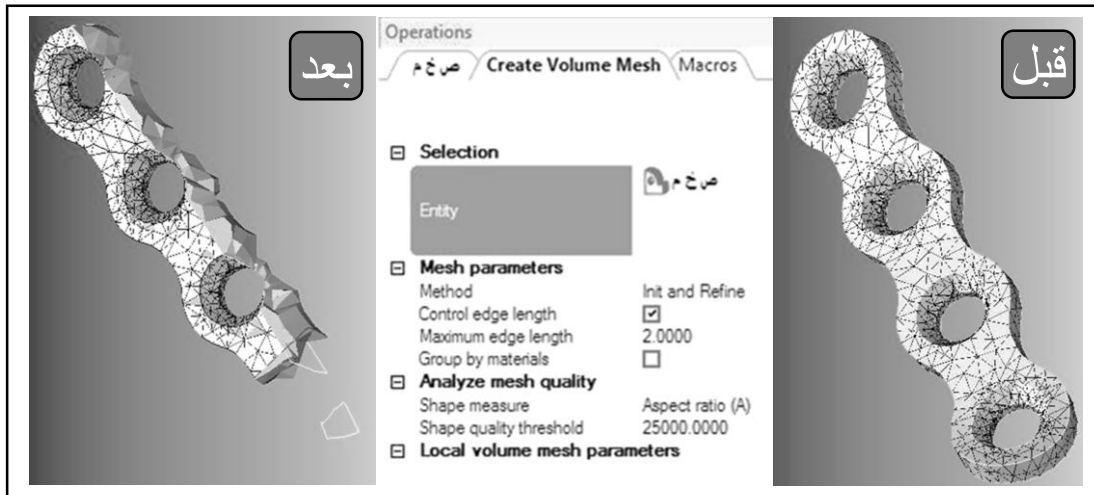


الشكل (2-18): تجزئة قناع النموذج إلى مثلثات ذات أحجام مختلفة

- وفي النهاية تمّ التأكد من دقة تجانس المثلثات من خلال عملية Quality Preserving والتي تجعل كل مثلث أقرب ما يكون للمثلث متساوي الأضلاع.
- ج- تصحيح الأخطاء: وهي آخر خطوة قبل تصدير البيانات من برنامج 3-Matic، وتمت هذه الخطوة باستخدام عملية Fix Wizard الموجودة في قائمة الصيانة Fix واتباع النصائح المقترحة Follow Advice، حيث تمّ تقادي وجود تراكب بين العناصر أو فراغات صغيرة بينها أو غير ذلك وبالتالي التقليل من المشاكل Problems التي ممكن أن تظهر فيما بعد في برنامج ANSYS.

## 2-3-4- استخراج المُجسّمات الحجمية النهائية:

أ- تحويل السطوح إلى حجّوم: حيث كانت المراحل السابقة جميعها تتعامل مع النماذج على أنها أغلفة (مُجسّمات سطوح) فارغة من الداخل وهنا تمّ تحويل مُجسّمات السطوح Surface Mesh إلى مُجسّمات حجّوم Volumetric Mesh وذلك باستخدام عملية Create Volume Mesh الموجودة في قائمة التجزئة Remesh من برنامج 3-Matic، وتمّ تحديد الطول الأعظمي لضلع الهرم الرباعي للعنصر بحيث لا يتجاوز 2 مم (الشكل 2-19).



الشكل (2-19): تحويل الصفحة من قناع إلى نموذج حجمي (Volumetric mesh)

ب- استخراج البيانات: باستخدام عملية التصدير Export في قائمة الملف File من نفس البرنامج واختيار نوع الملف بحيث يوافق برنامج ANSYS، وتمّ استخراج الشبكة السطحية والحجمية لكل المُجسّمات، بحيث ينتج لدينا 3 ملفات (المثبتة، والبراغي، والفك) جميعها بلاحقة (.cdb).

وهذه المرحلة من أهم الميزات العملية في هذا البحث، حيث تم اعتبار كل نموذج على أنه ذو بنية معقدة غير متجانسة Non-homogeneous يحاكي بشكل كبير الفك الطبيعي، وتم تقسيم النموذج إلى ثمانية أجزاء بحسب تدرج الكثافة الشعاعية من خلال قيم HU وإعطاء كل قسم خواص مادية تماثل الطبيعية وذلك وفق قيم (الجدول 2-4) ( Aquilina et al., 2013)، يظهر الشكل (2-20) طريقة إعطاء النموذج خواصه المادية باستخدام برنامج MIMICS (انظر أيضاً الشكل م-5)، يظهر الشكل (2-21) العناصر مقسمة بحسب كثافتها الشعاعية إلى ثمان مجموعات ويلاحظ مشابهة تقسيمات العناصر لتقسيم المواد الطبيعية كما يلي (الشكل م-5):

نقي عظم - عظم اسفنجي بكثافتين - عظم كثيف - عاج - ميناء بكثافتين - رؤوس الحديبات.

تخصيص المواد لنموذج الفك السفلي يمر بثلاث مراحل:

أ- المرحلة الأولى: من خلال برنامج MIMICS الذي يعطي كل عنصر خواصه

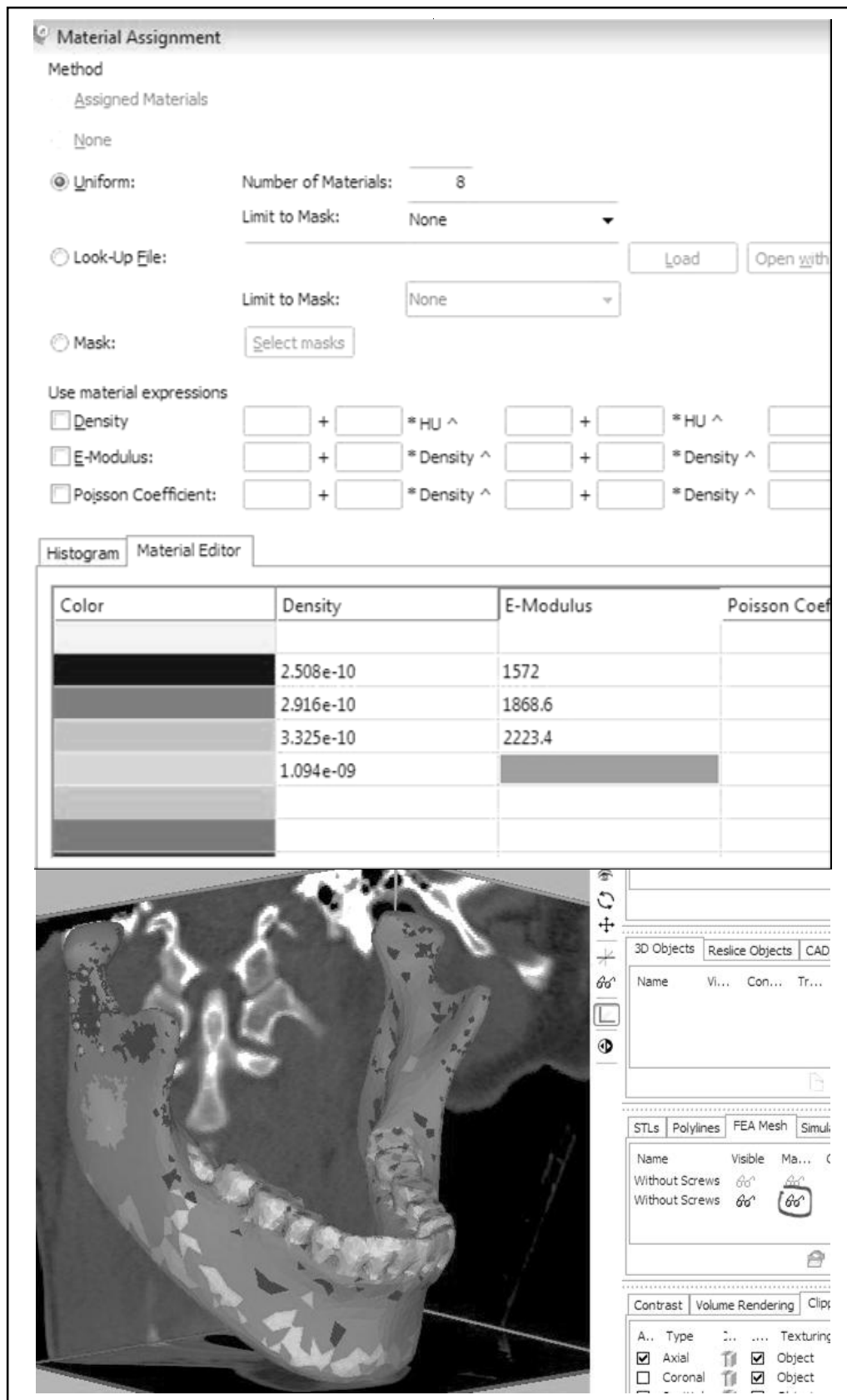
المادية بحسب الكثافة الشعاعية (HU)، حيث يستورد الملف ذي اللاحقة (.cdb)

ويقوم بتقسيم النموذج إلى 8 مجموعات باستخدام عملية تخصيص المواد

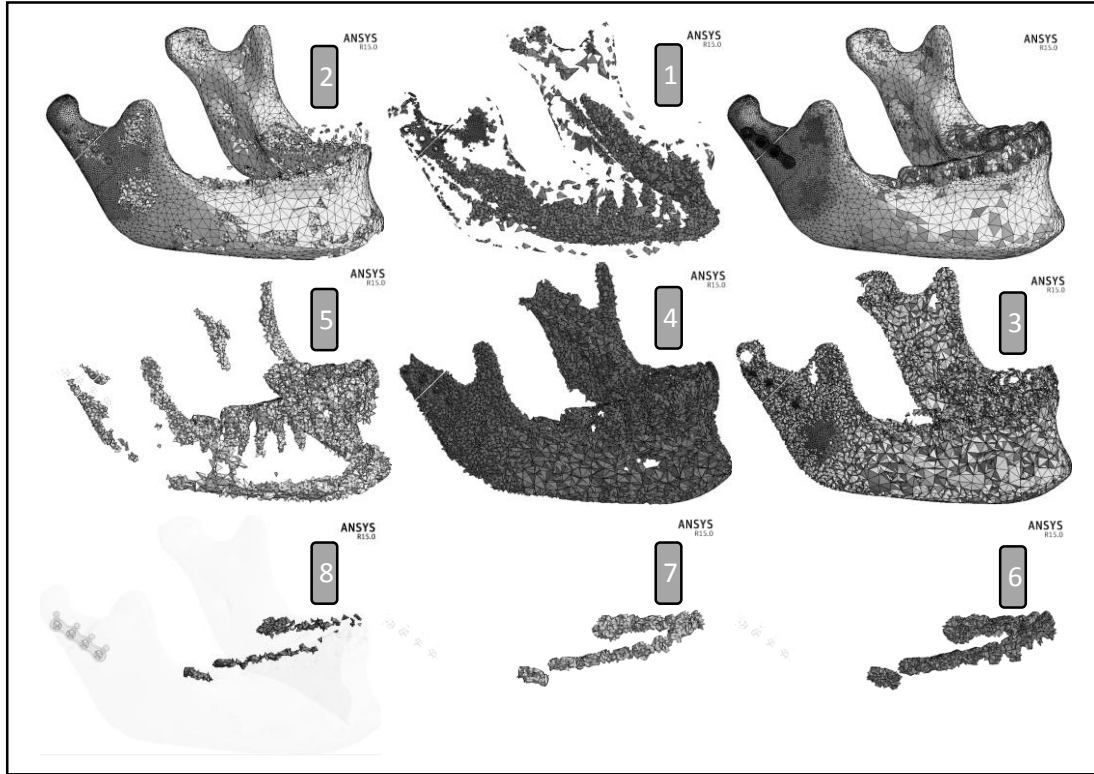
Material Assignment، ومن ثم يصدر البيانات بشكل ملفين ملف بلاحقة

(.cdb) وملف بلاحقة (.txt) يحوي المعلومات التفصيلية للخواص المادية لكل

عنصر على حدة.



الشكل (2-20): تخصيص مواد النموذج باستخدام برنامج MIMICS



الشكل (2-21): مجموعات العناصر بحسب الكثافة الشعاعية (النموذج س1) (بالترتيب من الكثافة الأدنى إلى الأعلى)

الجدول (2-4) قيم الخواص المادية الثمان في النموذج النهائي (Aquilina et al., 2013)

| المادة | معامل المرونة (ميغاباسكال) | الكثافة (طن/مم <sup>3</sup> ) |
|--------|----------------------------|-------------------------------|
| 1      | 1572                       | $2.508 \times 10^{-10}$       |
| 2      | 1868.6                     | $2.916 \times 10^{-10}$       |
| 3      | 2223.4                     | $3.325 \times 10^{-10}$       |
| 4      | 10786.8                    | $1.094 \times 10^{-9}$        |
| 5      | 21734.2                    | $1.855 \times 10^{-9}$        |
| 6      | 27082.2                    | $2.190 \times 10^{-9}$        |
| 7      | 32704.3                    | $2.525 \times 10^{-9}$        |
| 8      | 38575.4                    | $2.860 \times 10^{-9}$        |

ب-المرحلة الثانية: تعديل الملفات قبل إدخالها إلى ANSYS: وهذه خطوة هامة من

أجل نقل السطوح التي قد تمّ تحديدها في برنامج 3-Matic ومن أجل تفادي

الأخطاء اللاحقة (انظر الفقرة م-4).

ج-المرحلة الثالثة: إدراج بيانات الخواصّ المادية وهذا ما سيتمّ شرحه في الباب التالي.

وفي نهاية هذه المرحلة تمّ الحصول على النماذج النهائية في ملفات بصيغة (.cdb) والتي

تمّ استيرادها إلى برنامج ANSYS Finite Element Modeler وإجراء التعديلات

المطلوبة لاستقبال النموذج في برنامج ANSYS Mechanical حيث تمّ إدراج الخواصّ

المختلفة للمُجسّمات.

### 2-3-6- تحليل العناصر المنتهية (FEA):

#### • 2-3-6-1- مرحلة ما قبل المعالجة Preprocessing:

وهي مجموعة الخطوات التي نقوم بها لكي نستطيع أن نجري التحاليل النهائية وتتضمن:

مرحلة تجزئة النماذج إلى عناصر منتهية ومرحلة إعطاء المواصفات التي تشمل تخصيص

المواد وتحديد نوع الارتباط بين المُجسّمات وإدراج الشروط الحدية (التقييدات والقوى

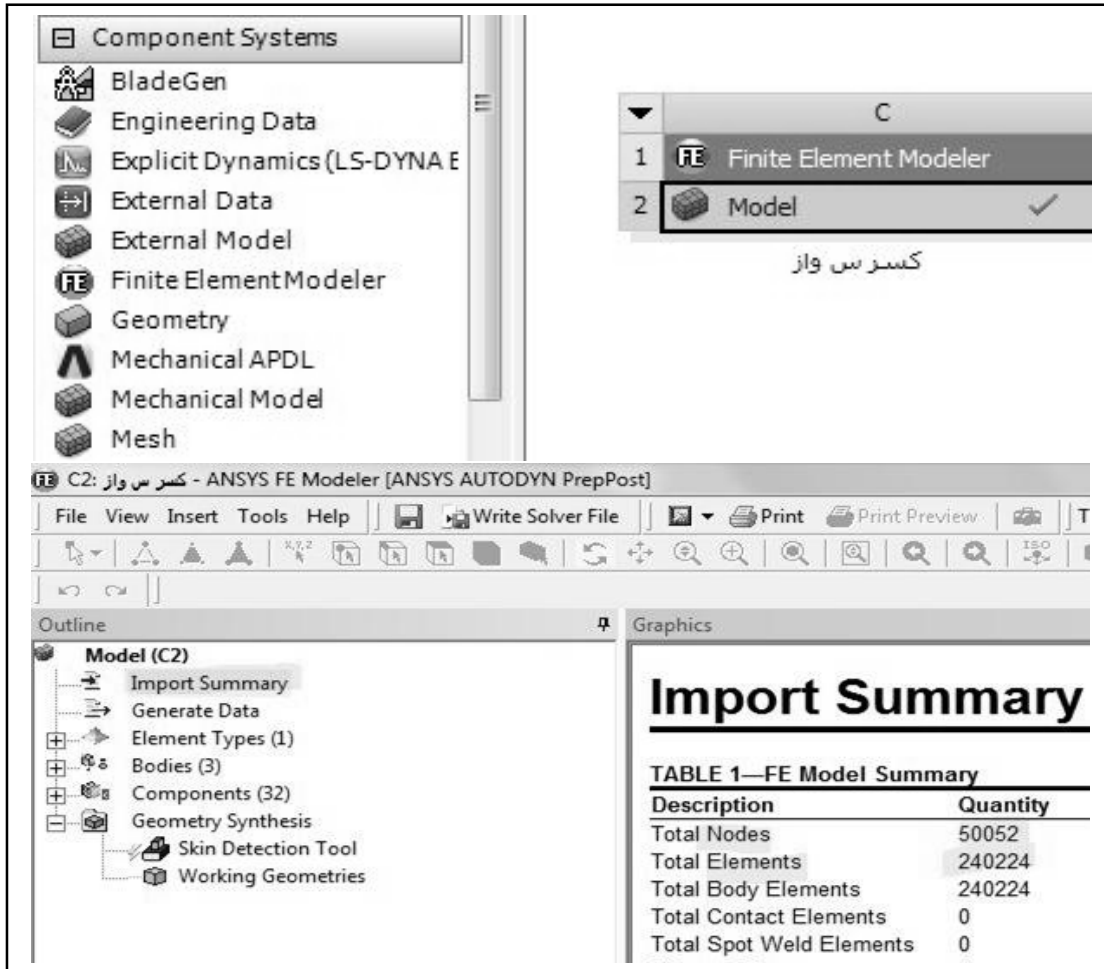
العضلية)، ومن أجل متابعة الخطوات لا بد من استخدام برنامج ANSYS.

#### • معالجة النماذج في برنامج التحليل ANSYS

ولاستيراد الملفات إلى برنامج ANSYS Workbench يمكن استخدام عدة طرق ، وفي هذا

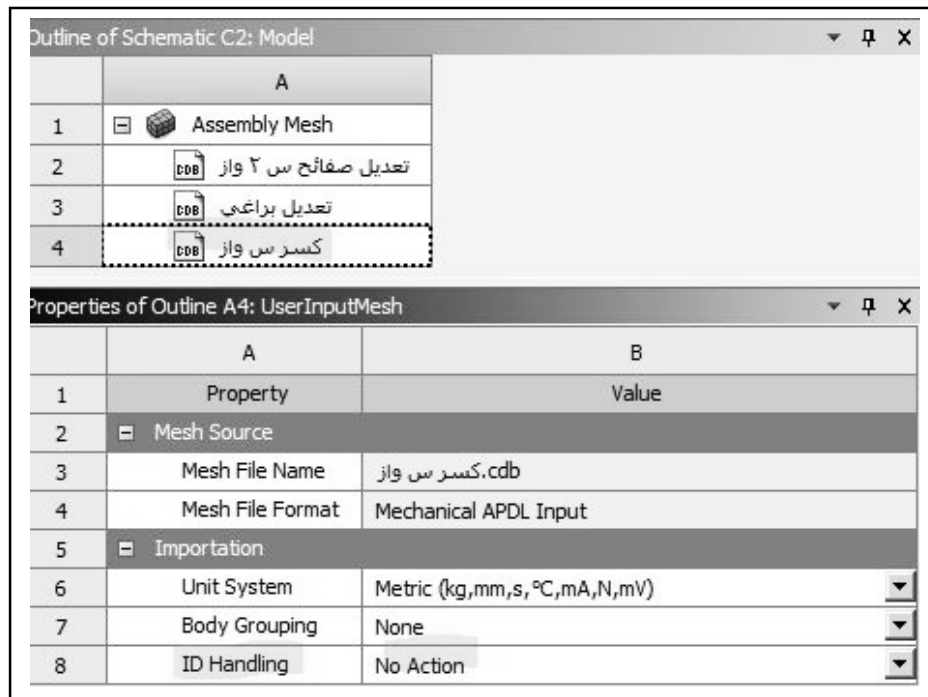
البحث تمّ اعتماد الطريقة التالية:

أ- استيراد الملفات: وذلك بعد أن تمّ استخراج البيانات من برنامج 3-Matic بصيغة (.cdb)، ونستورد الملفات الخاصة بكل نموذج إلى برنامج Finite Element Modeler (FEM) الذي يقوم بقراءة الملفات (الشكل 2-22).



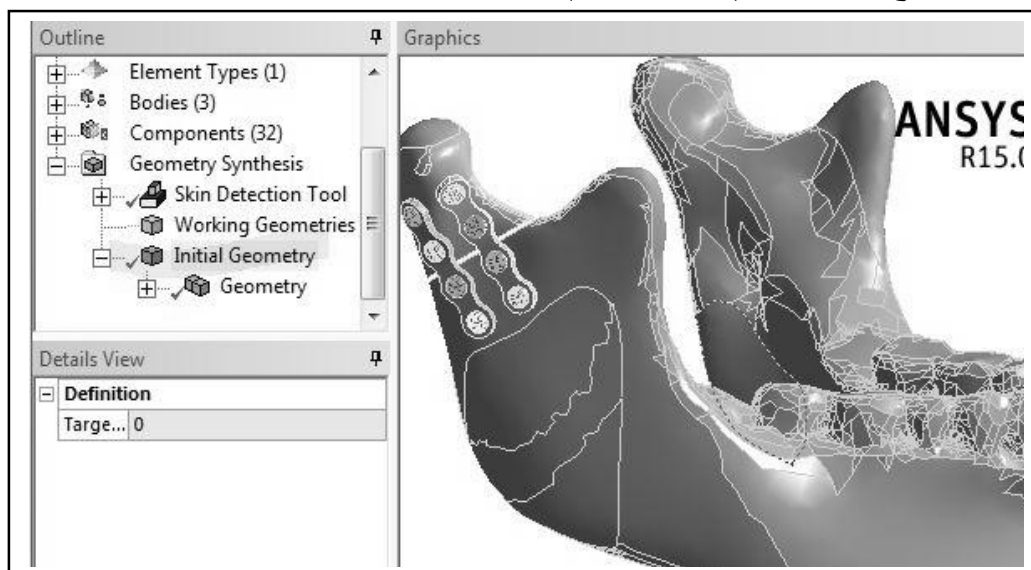
الشكل (22-2): فتح الملف (.cdb) باستخدام Finite Element Modeler في برنامج Ansys

- **تنبيه 1:** عند استيراد الملفات إلى برنامج FEM يقوم البرنامج بإعادة ترميم العناصر بتسلسل تلقائي Automatic، ومن أجل إدراج الخواص المادية للعظم فيما بعد لا بد من إبقاء الترقيم الأساسي كما هو في الملف الأصل دون تغيير، وتمّ ذلك من خلال التعديل في خصائص الملف بعد استيراده إلى FEM حيث نختار في حقل الترقيم ID Handling عدم إجراء أيّ تعديل No Action (الشكل 2-23).



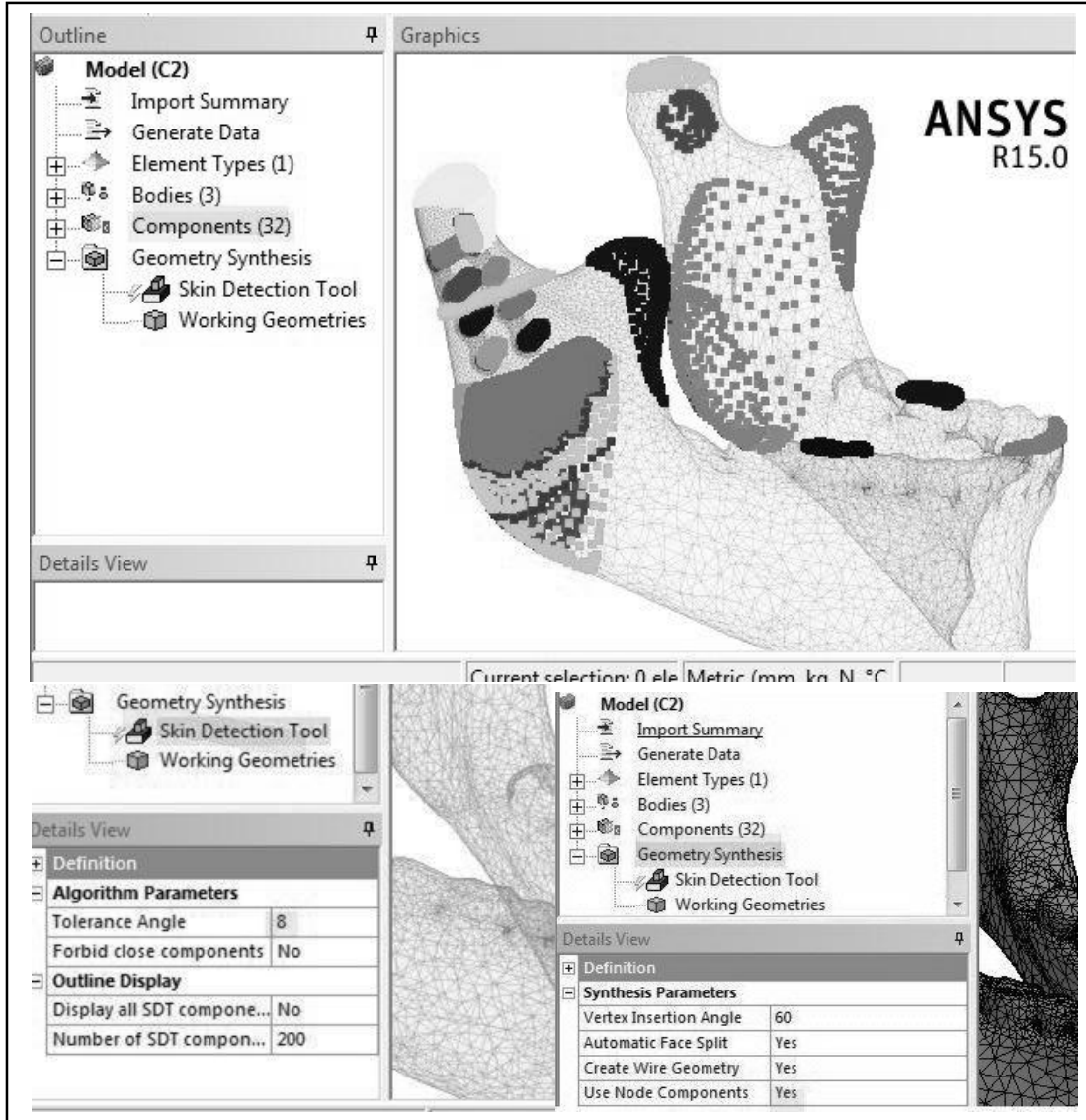
الشكل (23-2): تعديل الخواص للمحافظة على التقييم الأساسي لعناصر نموذج الفك

ب- إجراء التعديلات: وهذه التعديلات هامة لكي يقبلها برنامج Static Structural Mechanical حيث تمّ بناء هيكل أولي Initial Geometry في برنامج FEM (هذه الخطوة استقيدت من دراسة (Procopio, 2012)) وتمّ خلال هذه المرحلة قراءة السطوح (أماكن ارتكاز الحزم العضلية) التي قد تمّ تحديدها قبل ذلك في برنامج 3-Matic (الشكل 24-2).



الشكل (24-2): الهيكل الأولي في برنامج Finite Element Modeler

- **تنبيه 2:** من أجل إعطاء نتيجة مقبولة للتقسيم Skin Detection Tool تم اختيار الرقم 8 كمشعر للزاوية وهذا الرقم تبين تجريبياً أنه المناسب لنموذج البحث بحيث لا يتولد لدينا أخطاء (الشكل 2-25).



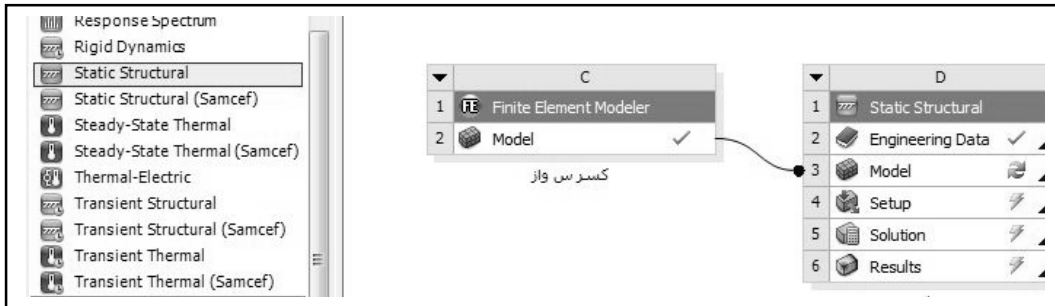
الشكل (25-2): تغيير الإعدادات للاستفادة من السطوح العقدية في تشكيل الهيكل الأولي

- **تنبيه 3:** يقوم برنامج 3-Matic بتصدير السطوح على أنها سطوح عقدية Surface Nodes، ومن أجل قراءتها في برنامج FEM لا بد من تفعيل خيار استخدام السطوح العقدية Use Node Components (الموجود في قائمة تفاصيل Geometry Synthesis) وبعد ذلك تم اعتبار السطوح وإبقاؤها على ما هي عليه (الشكل 2-25).

ج- إعطاء المواصفات: تمّ نقل البيانات التي تمّ الحصول عليها في برنامج FEM إلى مشروع هيكل سكوني Static Structural (الشكل 2-26)، وبعد فتح البرنامج Mechanical تمّ إعطاء المواصفات وذلك وفق المراحل:

1- تخصيص مواد المثبتات: وذلك من خلال تحديد الأجسام التي تمثّل المثبتات وتغيير موادها إلى مادة التيتانيوم التي تمّ إدراج بياناتها مسبقاً في بيانات المواد

.Engineering Data



الشكل (2-26): نقل البيانات إلى مشروع هيكل سكوني Static Structural في برنامج Ansys

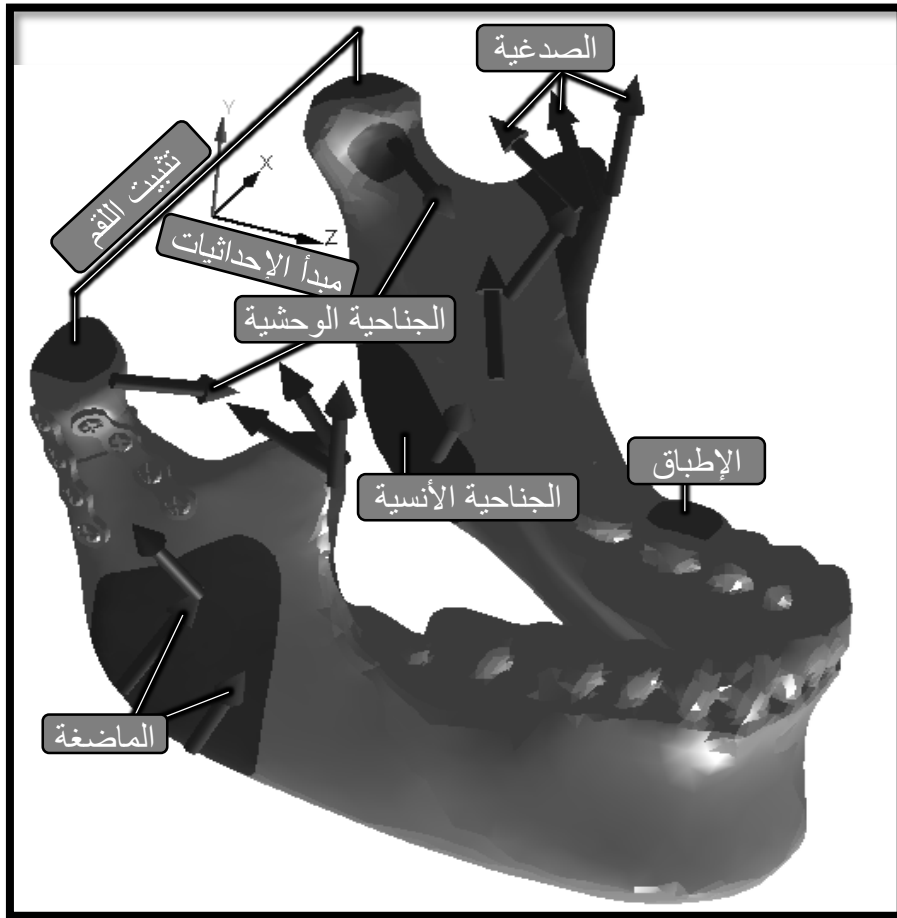
تمثّلت الخواصّ الماديّة التي أضيفت بمعامل المرونة  $104 \text{ GPa}$  Young's modulus ومعامل بواسون  $0.34$  Poisson's ratio، وحدّ الخضوع  $900\text{--}1000 \text{ MPa}$  Yield stress وحدّ التشوّه (أو الانثناء)  $450\text{--}500 \text{ MPa}$ ، وهي الخواصّ الماديّة المماثلة لخواص خليطة التيتانيوم من النمط الخامس (Ti6Al4V grade 5) (Kozakiewicz and Swiniarski, 2014, Wagner et al., 2002).

2- تحديد مبدأ الإحداثيات: وهذه الخطوة هامّة من أجل توحيد مدخلات القوى العضلية في جميع النماذج، وتمّ ذلك من خلال اختيار السطوح اللقمية كنقاط علامة وتعديل المحاور بحيث يكون المستوي YZ موازي للمستوي الناصف والمستوي XZ موازٍ لمستوى الإطباق، واتجاه المحاور Y و X و Z الموجبة متّجهة نحو الأعلى والأيسر والأمام على الترتيب (الشكل 2-27) (Koroth and Hannam, 1994).

3- تحديد نوع سطوح الارتباط بين المُجسّمات: حيث تمّ اختيار الارتباط بين البراغي والصفائح على أنها علاقة التصاق Bonded (أي لا تسمح بالحركة بين الأجزاء وتنتقل الإجهادات فيما بينها بشكل مباشر)، وكذلك بين البراغي

والعظم المحيط، أما الارتباط بين الصفائح و سطح الفك فقد تمّ إلغاؤه (وذلك لمنع انتقال الإجهادات إلى العظم إلا من خلال البراغي) كما في دراسة ( de Jesus et al., 2014).

4- إدراج الشروط الحدية والتقييدات والقوى العضلية: وذلك باختيار السطوح المناسبة وإدراج القوى المؤثرة على كل سطح، تمّ اختيار التثبيت في كلّ من السطوح اللقمية والسطح الإطباق للرحى الأولى اليسرى على أنه تثبيت صلب Fixed (أي تقييد الحركة الانزلاقية والدورانية في كل الاتجاهات) ( Aquilina et al., 2013)، وتمّ اعتبار القوى العضلية على أنها قوى شد Force وتمّ توزيع الحزم العضلية على السطوح بحيث تكون قوى جزئي الماضغة تؤثر على سطح واحد، وكذلك قوى الأجزاء الثلاثة للصدغية مشتركة في سطح واحد (الشكل 2-27) (Korioth and Hannam, 1994)



الشكل (2-27): النموذج النهائي مع الشروط الحدية والعضلات ومبدأ الإحداثيات في برنامج ANSYS

5- إدراج بيانات الخواص المادية لنموذج الفك: وذلك باستخدام تعليمة Commands حيث تم إدراج المعلومات المأخوذة من الملف المصدّر من MIMICS والذي يحوي الصيغة (.txt) حيث يحوي هذا الملف معلومات بعدد عناصر النموذج بحيث ينسب كل عنصر إلى مجموعته (من بين مجموعات المواد الثمان) بحسب كثافته الشعاعية، وتم! إدراج البيانات في عدة تعليمات Commands تتراوح بين (5-8) تعليمات بحسب عدد العناصر وذلك لتسهيل عمليات المعالجة وتوفير الوقت المستغرق أثناء إدراج البيانات.

وهكذا نكون قد حصلنا على النموذج النهائي بمواصفاته الكاملة وأصبح النموذج جاهزاً لإجراء التحاليل المختلفة.

#### • 2-6-3-2- مرحلة التحليل *Analysis*:

حيث تمّ في هذه المرحلة إجراء عمليات حسابية دقيقة ومعقّدة باستخدام برنامج ANSYS Mechanical باستخدام التحليل الخطي الساكن Linear Elasticity بغية الوصول للنتائج المطلوبة وإجراء الحسابات الإحصائية لحساب المتغيرات المختلفة.

#### • المتغيرات المدروسة *Studied parameters*:

##### أ- الانفعالات المكافئة Von-Mises strain في كامل الفك:

- تمّ من خلال هذا المتغير مقارنة نتائج توزّع الانفعالات في النماذج المختلفة مع نتيجة توزّع الانفعال في النموذج الشاهد وذلك بمقارنة القيم العليا في كلّ نموذج، وهذا التحليل يعطي نظرة شاملة على كامل الإجهادات في النموذج وعند مقارنتها مع النموذج الطبيعي (الشاهد) تعطينا فكرة حول أفضل التقنيات مقارنة من الحالة الطبيعية.

- ملاحظة: تم حذف القيم المتطرفة في مناطق الاتصال مع البراغي وذلك للوصول إلى نتائج واقعية وحذف النتائج المشوهة (Aquilina et al., 2013).

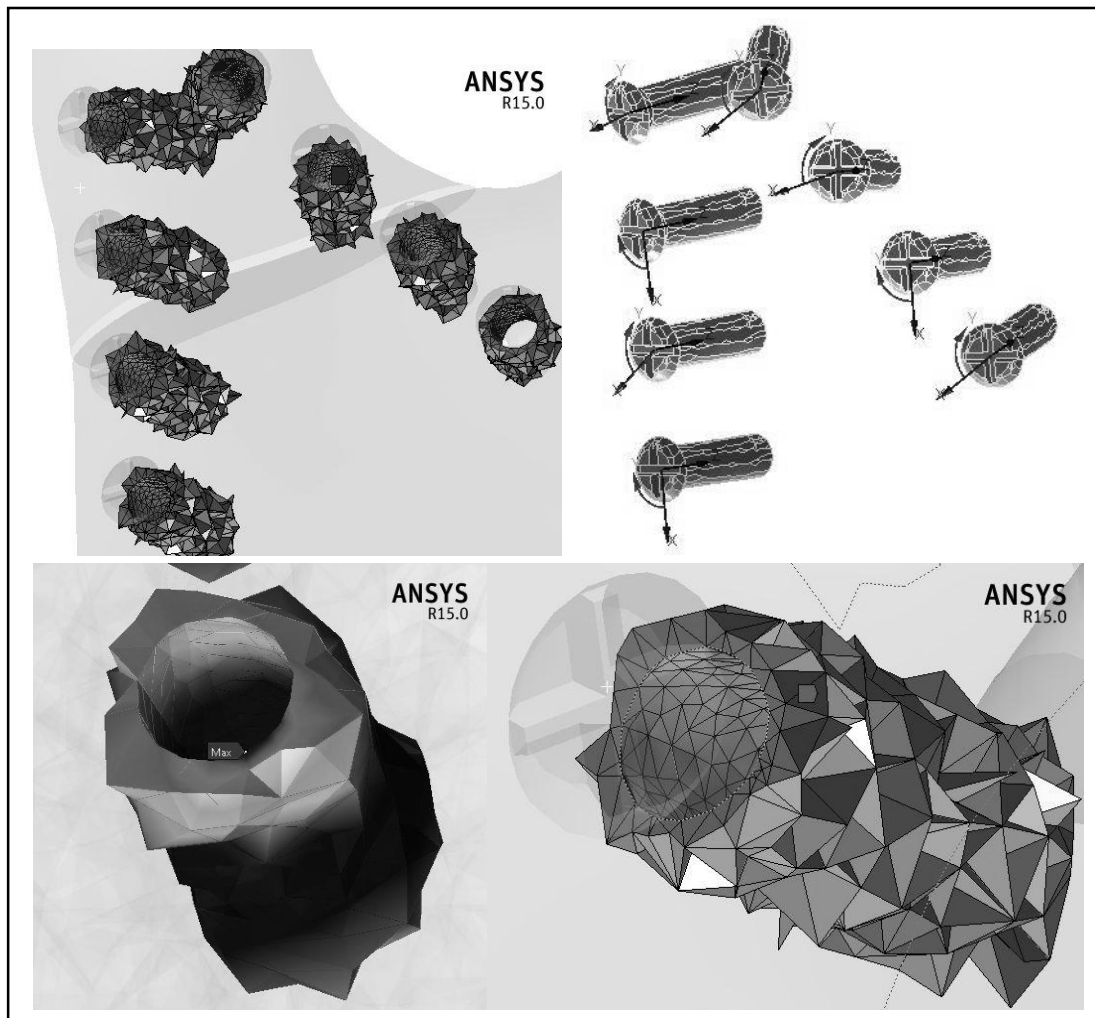
#### ب- الإجهادات المكافئة المتوزعة في الصفائح والبراغي:

- حيث يعطينا هذا المتغير قيمة الإجهادات التي تتعرض لها المثبتات في الجهات الثلاث (قص وشد وضغط).
- وهذا يعطي فكرة عامة حول تحمّل تقنيات التثبيت للجهود المختلفة الواردة إليها وبالتالي نجاحها أو فشلها في تحقيق المقاومة للإجهادات، ويعتبر النجاح عندما تكون الإجهادات المتوزعة في الصفيحة أقل من حدّ الخضوع ( $Yield\ limit\ 900$ ) وبالتالي قبول التقنية أو رفضها (Wagner et al., 2002).
- أيضاً تمّ استبعاد القيم الشاذة المرتفعة بالقرب من نقاط تماس البراغي مع الصفائح.

#### ج- الإجهادات المكافئة المتوزعة حول البراغي:

- وهذا المتغير من النقاط الهامة في هذا البحث حيث يعطينا نظرة شاملة حول توزع الإجهادات بشكل خاص في العظم المحيط بالبراغي في التقنيات المدروسة، وهذا يحقق لنا معرفة مقدار تحمّل العظم حول البراغي وتفاضل التقنيات فيما بينها من خلال النتائج.
- وتمّ اعتبار القيمة  $50\ Mpa$  كمعيار لقبول النتائج، حيث تعتبر القيم أخفض من هذه القيمة قيم مقبولة وآمنة بينما القيم التي تتجاوز هذه القيمة تعتبر ذات خطورة لاحتمال حدوث الامتصاصات العظمية (Huang et al., 2015, Sugiura et al., 2000).
- واستُبعدت بعض القيم الشاذة في العناصر عند مدخل البراغي.

- **ملاحظة:** تمّ حساب الإجهادات المحيطة بالبراغي من خلال استخدام مرجع إحداثيات قطبي Cylindrical فيه محور (z) هو محور البرغي ومحور (y) هو المحور الدوراني والنقطة المرجعية تتوضع في مركز رأس البرغي، ومن ثمّ تحديد العناصر المحيطة بكل برغي والتي تبعد عنه 3 مم أو أقل وذلك باستخدام قيم مناسبة (الشكل 28-2) بشكل مشابه لما في دراسة (Aquilina et al., 2013).



الشكل (28-2): حساب الإجهادات حول البراغي باستخدام مبدأ إحداثيات قطبي Cylindrical

#### د- الانزياحات الحاصلة في سطح الكسر في القطعة الأمامية:

- وهذا المتغير أيضاً هام وذلك لأخذ فكرة حول استقرار الكسر بعد إجراء التثبيت وقدرة تقنية التثبيت على منع منطقة الكسر من الحركة وبالتالي إمكانية تشكّل الدشبذ العظمي في منطقة الكسر بشكل سليم، وتعتبر قيمة 150 ميكرون حداً فاصلاً - قيمة معيارية- لقبول تقنية التثبيت، حيث تُقبل القيم التي هي أخفض من هذا الحد، وكلما كان الانزياح الأعظمي أقل كلما كانت تقنية التثبيت أفضل، وتجاوز هذه القيمة يعني خطورة مرتفعة لحدوث مشاكل سريرية في شفاء الكسر بسبب عدم الاستقرار بين جزئي الكسر وبالتالي فشل تقنية التثبيت، هذه القيمة ذاتها التي اعتمدت في دراسة (Tams et al., 2001, Aquilina et al., 2013).

#### • 2-3-6-3- مرحلة استخراج النتائج وعرضها:

وهذه المرحلة هي الجزء الملموس من الدراسة حيث تمّ إظهار النتائج على النماذج المدروسة باستخدام المخططات اللونية التي تظهر في برنامج ANSYS Mechanical والتي توضح التمايز في الإجهادات في عناصر النموذج وكذلك الانزياح.

وكذلك في هذه المرحلة تمّ استخراج النتائج النهائية باستخدام خاصية الاستخراج Export المتوفرة في برنامج ANSYS Mechanical، حيث يقوم البرنامج بتصدير ملف Excel بلاهقة (.xls) يحتوي ترقيم العناصر والقيمة الحسابية المدروسة لكل عنصر على حدة.

ومن خلال هذه البيانات تمّ الحصول على القيم العظمى والمتوسطات للنتائج المختلفة ومن ثمّ وضعها في جدول نهائي لإجراء المقارنة والمناقشة.

## الباب الثالث:

# النتائج

### 3- الباب الثالث: النتائج

#### 3-1- نتائج التحاليل المجراة:

تمّ اختيار التحاليل التالية:

- القيمة الأعظمية للانفعالات المكافئة  $Von \quad Mises \quad Strain$  المتوزعة في كامل نموذج الفك.
- القيمة الأعظمية للإجهادات المكافئة  $Von \quad Mises \quad Stress$  المتوزعة في الصفائح والبراغي.
- القيمة الأعظمية للإجهادات المكافئة المتوزعة في العظم المحيط بالبراغي.
- القيمة الأعظمية للانزياح  $Total \quad deformation$  الحاصل في سطح الكسر (الجزء البعيد من الكسر)

وبعد أن تمّ استخراج القيم الحسابية الخاصة بكلّ عنصر من برنامج ANSYS إلى برنامج Excel تمّ الحصول على النتائج التالية:

- الجدول (1-3) يظهر القيم العليا لكلّ من الانفعالات  $Strain$  المتوزعة في كامل الفك والإجهادات  $Stress$  المتوزعة في الصفائح والبراغي والعظم حول البراغي إضافة للانزياحات الحاصلة في السطح السفلي للكسر وذلك في النماذج الستة التابعة للمجموعة الأولى (الكسر المتوسط)، وبشكل مماثل الجدول (2-3) ولكن بالنسبة لنماذج المجموعة الثانية (الكسر السفلي)، وقد تمّ استخراج القيم العليا والمتوسطات الحسابية لكل نموذج.
- أما بالنسبة للنموذج الشاهد فقد كانت القيمة الأعظمية للانفعال  $Strain$  المتوزع في كامل النموذج  $(5200 \mu)$ ، وهذه القيمة ستعتبر قيمة مرجعية لمقارنة باقي النماذج بها.

تمّ تسجيل النتائج السابقة بعد تجاهل القيم المتطرفة الناتجة عن الأخطاء المعتادة في عملية النمذجة بتقنية العناصر المنتهية وذلك عند الزوايا الحادة بقرب سطوح التماس.

**ملاحظة:** قيم الانفعالات لا واحدة لها عادةً، ومن أجل إجراء المقارنات يتمّ جعل القيم بوحدة الميكرو أي تضاعف النتائج بـ  $10^6$  وذلك كما في دراسة (Huang et al., 2015).

الجدول (3-1): يبين نتائج العمليات الحسابية على نماذج المجموعة الأولى (م).

| الانزياح<br>mm | حول البراغي<br>Mpa | برغي<br>Mpa | صفحة<br>Mpa | فك<br>$\mu$ | النتائج<br>النموذج |   |   |
|----------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|---|---|
| 0.24           | 80                 | 220         | 949         | 9440        | صفحة               | 1 | م |
| 0.19           | 36                 | 170         | 400         | 8000        | مسايرتين           | 2 |   |
| 0.11           | 27                 | 150         | 334         | 9000        | متوازيتين          | 3 |   |
| 0.64           | 60                 | 225         | 118         | 6700        | شبه منحرفة         | 4 |   |
| 0.42           | 25                 | 200         | 318         | 9300        | Delta              | 5 |   |
| 1.39           | 39                 | 195         | 225         | 11000       | A                  | 6 |   |

الجدول (3-2): يبين نتائج العمليات الحسابية على نماذج المجموعة الثانية (س).

| الانزياح<br>mm | حول البراغي<br>Mpa | برغي<br>Mpa | صفحة<br>Mpa | فك<br>$\mu$ | النتائج<br>النموذج |   |   |
|----------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|---|---|
| 0.43           | 62                 | 402         | 853         | 8290        | صفحة               | 1 | س |
| 0.16           | 43                 | 217         | 219         | 5120        | مسايرتين           | 2 |   |
| 0.16           | 40                 | 231         | 366         | 5970        | متوازيتين          | 3 |   |
| 0.65           | 63                 | 233         | 208         | 5930        | شبه منحرفة         | 4 |   |
| 0.38           | 70                 | 373         | 241         | 8610        | Delta              | 5 |   |
| 0.38           | 37                 | 260         | 277         | 9410        | A                  | 6 |   |

### 3-1-1-1-3 - الانفعالات والإجهادات المكافئة Von Mises

#### • 3-1-1-1-3 - الانفعالات المكافئة Strain في الفك:

المجموعة (م): نلاحظ من الجدول (3-1) أن القيمة العليا كانت في النموذج (م6) ( $11000 \mu$ ) والمنخفضة في النموذج (م4) ( $6700 \mu$ ).

المجموعة (س): من الجدول (3-2) نلاحظ القيمة العليا التي تمثلت في النموذج (س6) ( $9410 \mu$ ) والمنخفضة في النموذج (س2) ( $5120 \mu$ ).

#### • 3-1-1-2-2 - الإجهادات المكافئة في العناصر المثبتة:

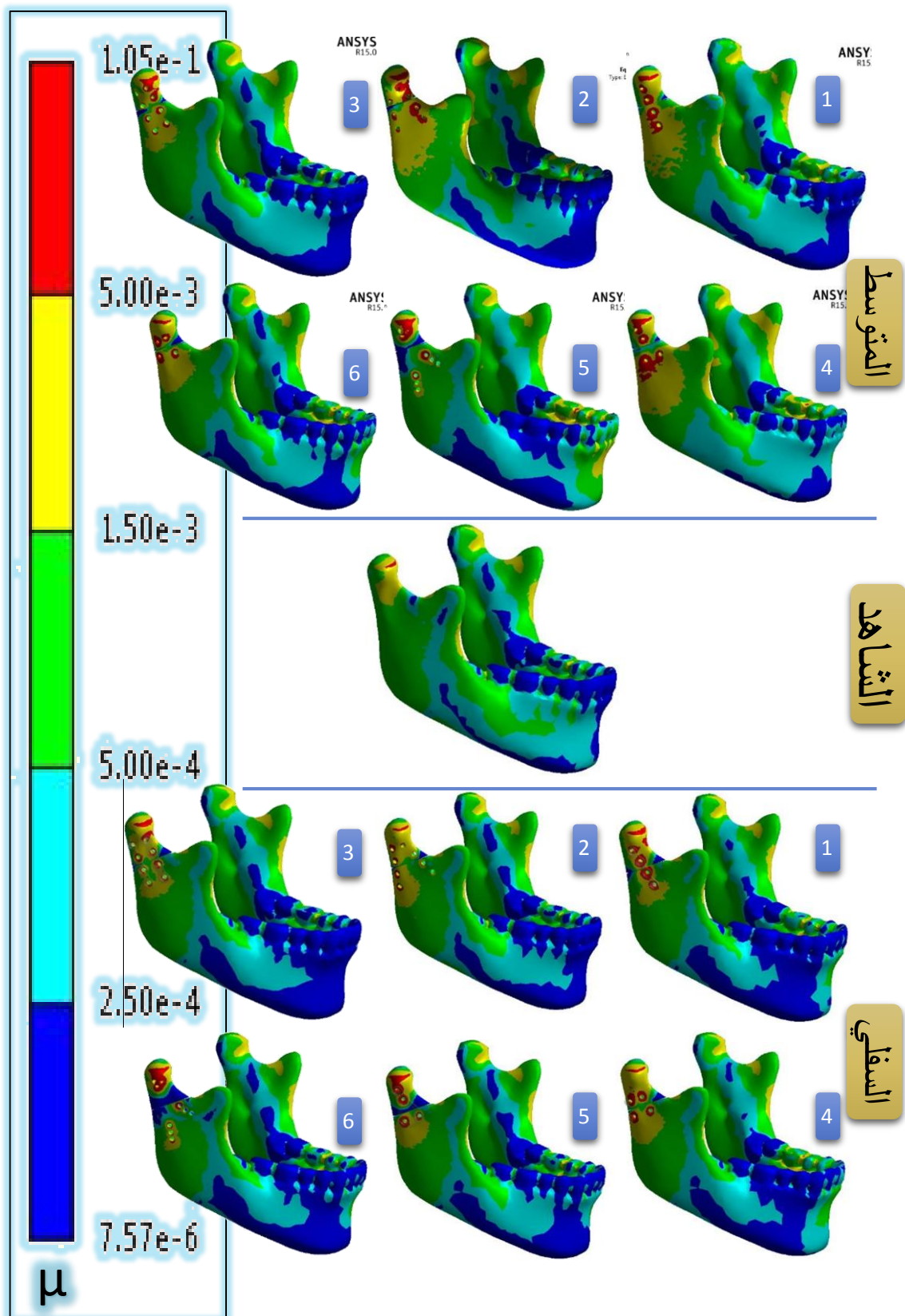
المجموعة (م): نلاحظ من الجدول (3-1) أن القيمة العليا كانت في النموذج (م1) ( $949 \text{ MPa}$ ) والمنخفضة في النموذج (م4) ( $118 \text{ MPa}$ ).

المجموعة (س): من الجدول (3-2) نلاحظ أن القيمة العليا كانت في براغي النموذج (س5) ( $310 \text{ MPa}$ ) والقيمة المنخفضة في صفائح النموذج (س2) ( $120 \text{ MPa}$ ).

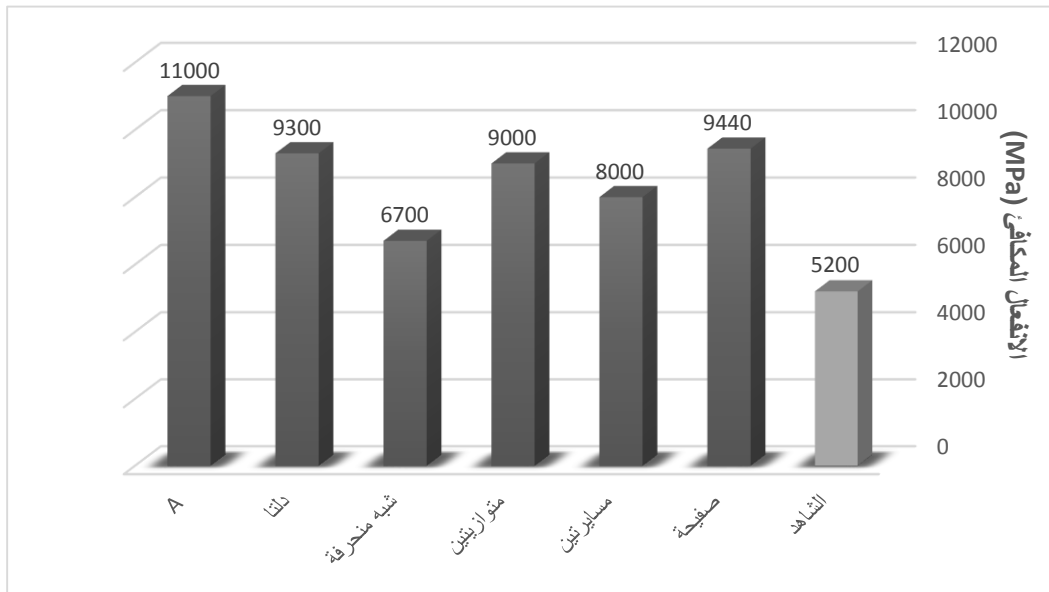
#### • 3-1-1-3-3 - الإجهادات المكافئة في العظم حول البراغي:

المجموعة (م): نلاحظ من الجدول (3-1) أن القيمة العليا كانت في النموذج (م1) ( $80 \text{ MPa}$ ) والمنخفضة في النموذج (م5) ( $25 \text{ MPa}$ ).

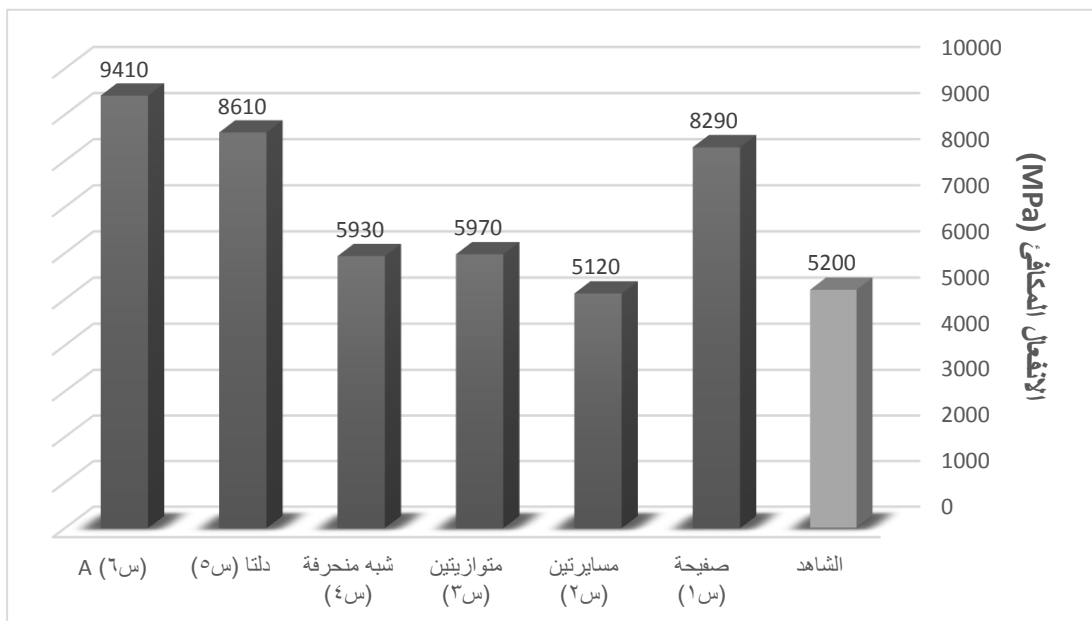
المجموعة (س): من الجدول (3-2) نلاحظ القيمة العليا التي تمثلت في النموذج (س5) ( $70 \text{ MPa}$ ) والمنخفضة في النموذج (س3) ( $40 \text{ MPa}$ ).



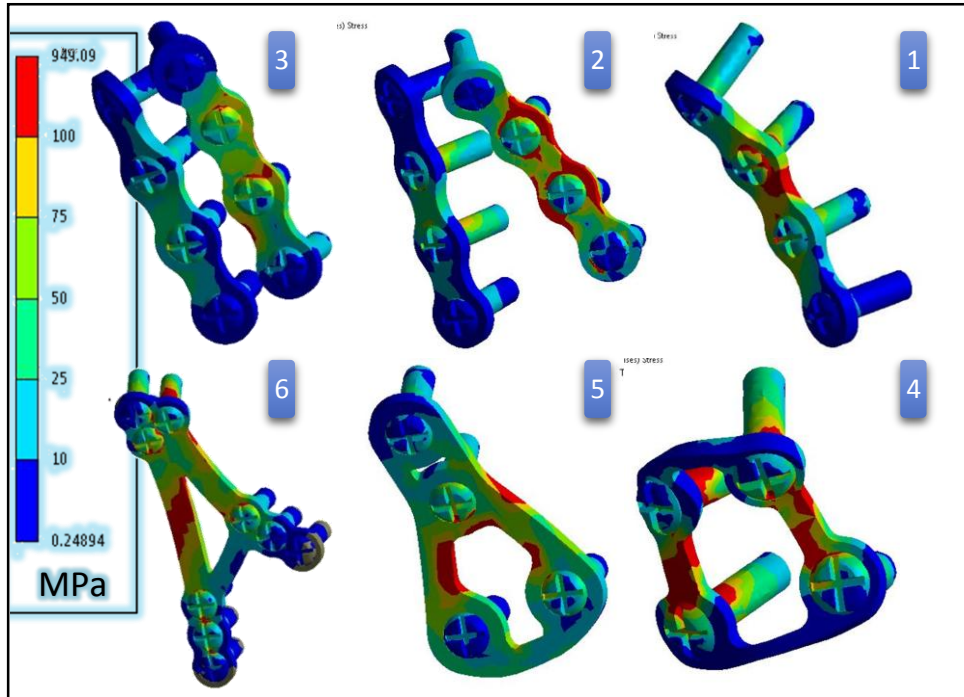
الشكل (1-3): الخرائط اللونية لتوزيع الانفعالات في كامل الفك في جميع النماذج



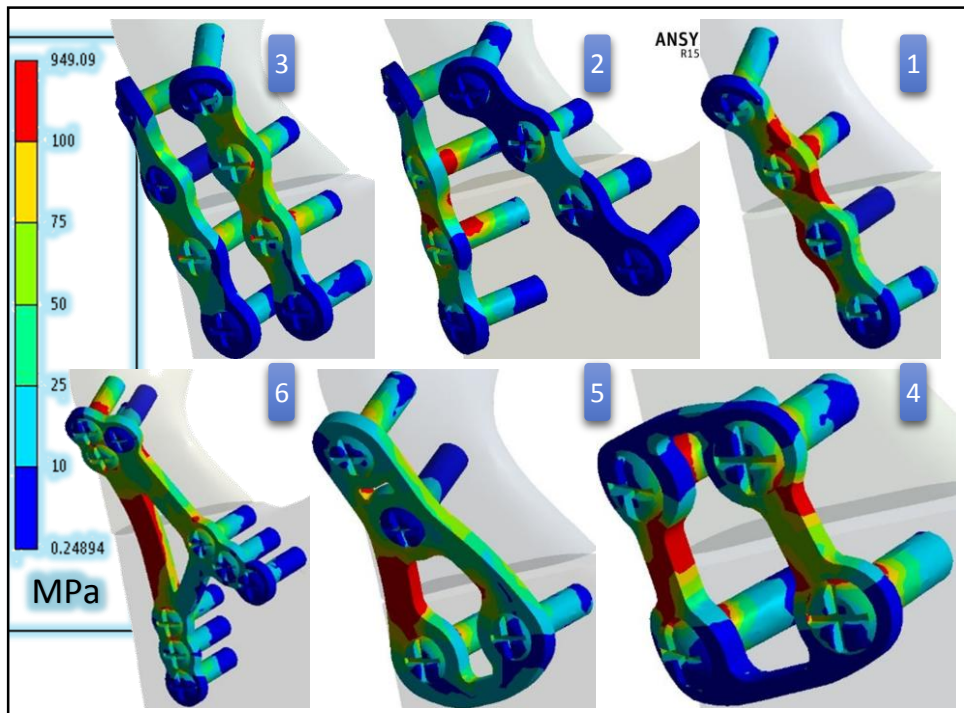
الشكل (2-3): مخطط بياني يوضح القيم العليا للانفعالات المتوزعة في كامل الفك في نماذج المجموعة (م)



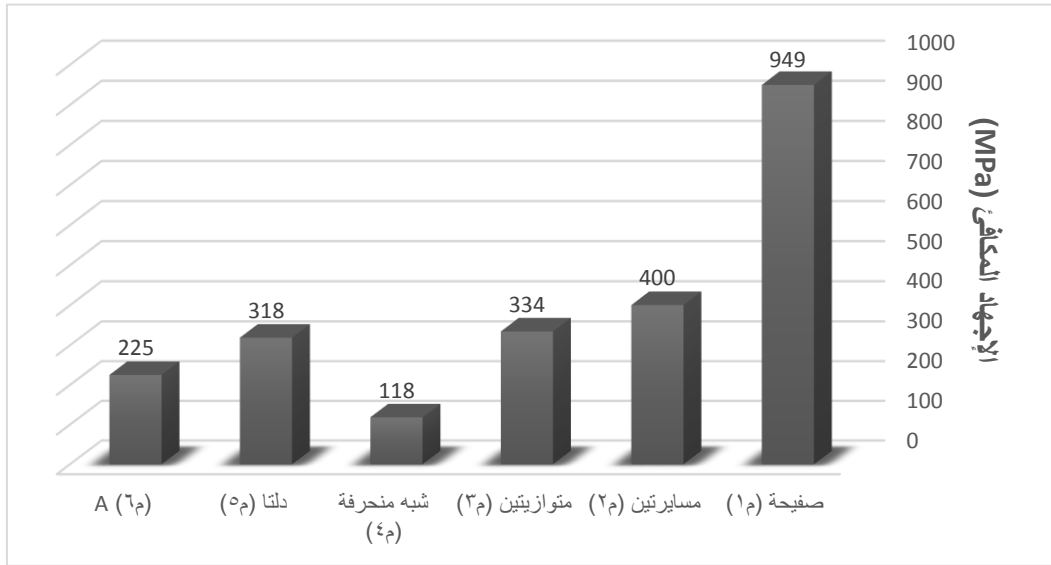
الشكل (3-3): مخطط بياني يوضح القيم العليا للانفعالات المتوزعة في كامل الفك في نماذج المجموعة (س)



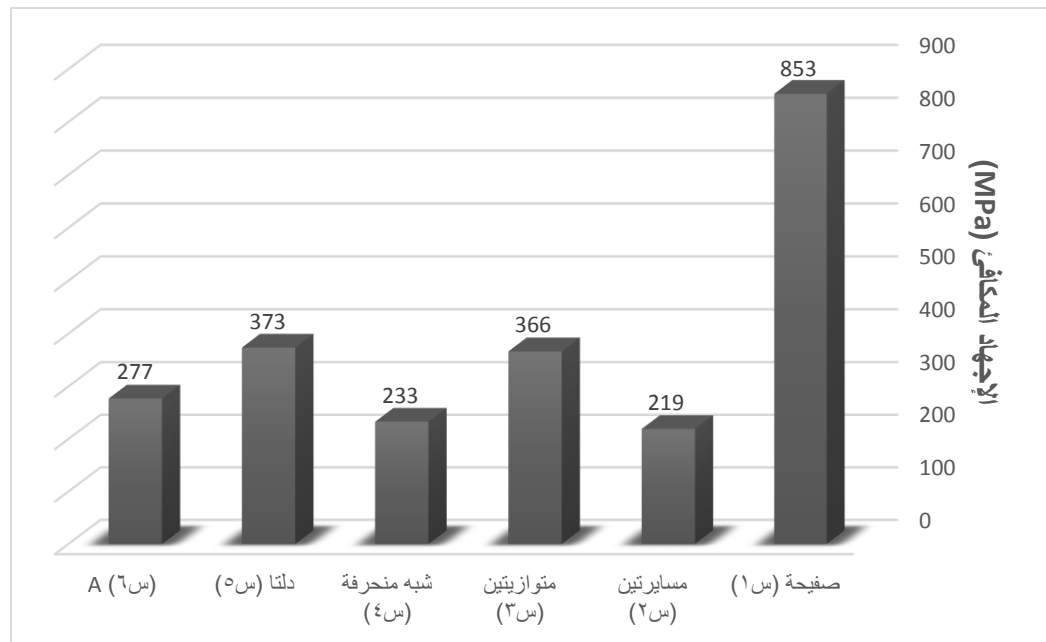
الشكل (3-4): الخرائط اللونية لتوزيع الإجهادات في المثبتات في نماذج المجموعة (م)



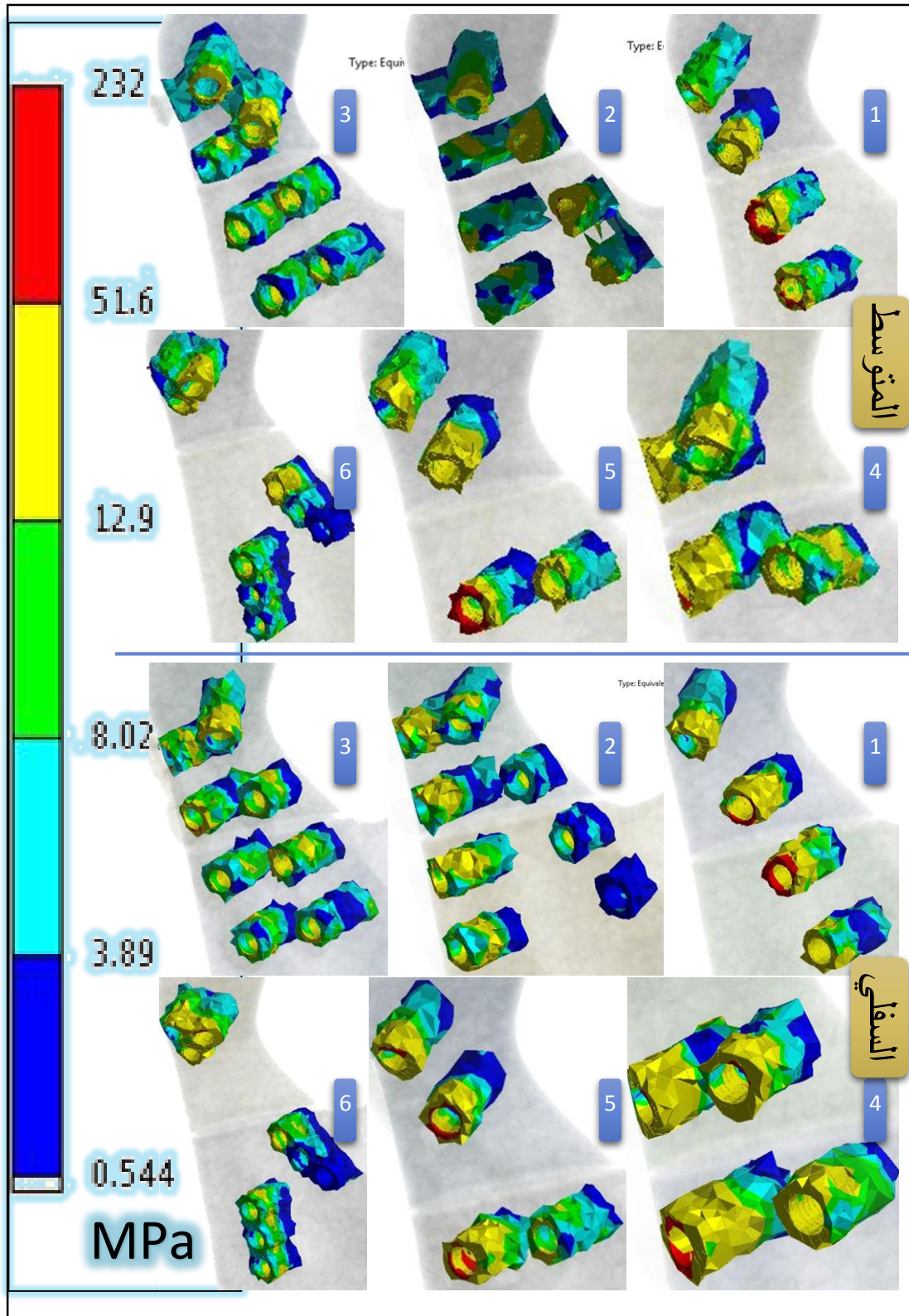
الشكل (3-5): الخرائط اللونية لتوزيع الإجهادات في المثبتات في نماذج المجموعة (س)



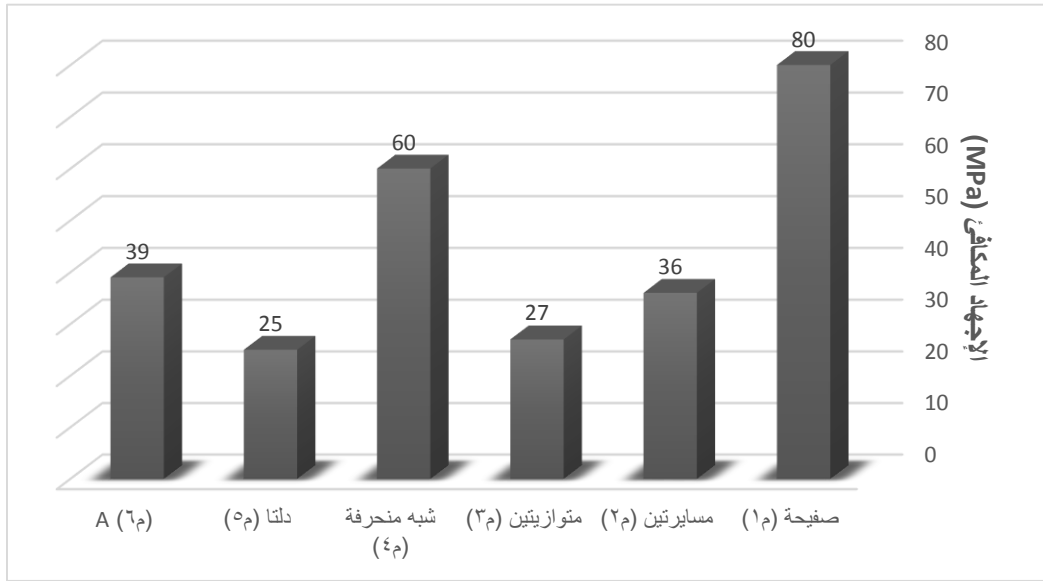
الشكل (3-6): مخطط بياني يوضح القيم العليا للإجهادات المتوزعة في المثبتات في نماذج المجموعة (م)



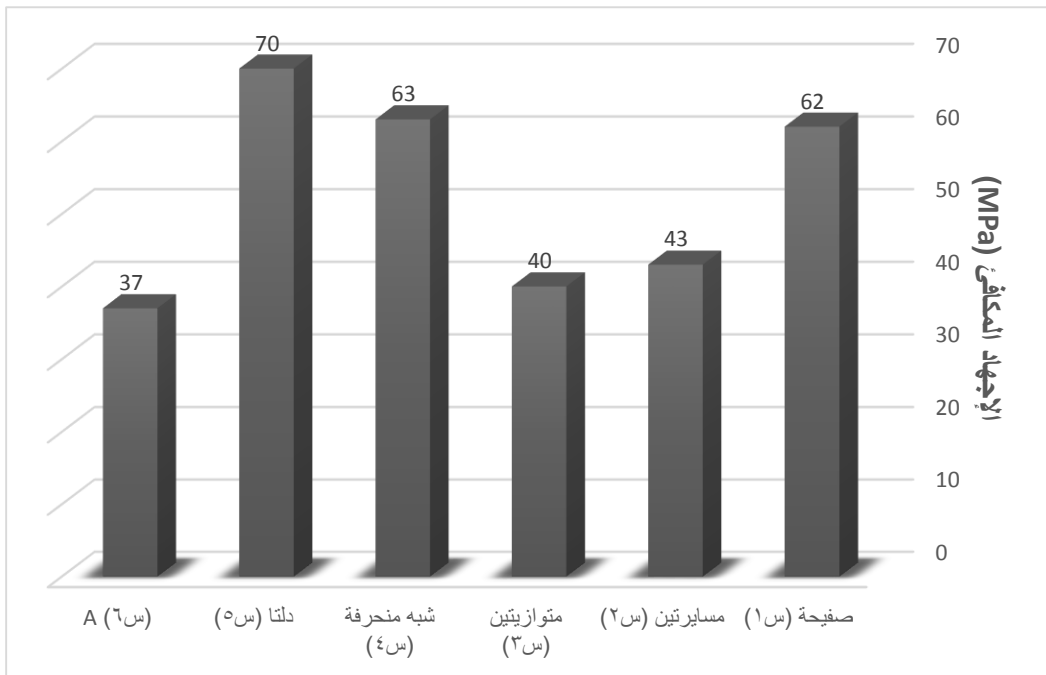
الشكل (3-7): مخطط بياني يوضح القيم العليا للإجهادات المتوزعة في المثبتات في نماذج المجموعة (س)



الشكل (3-8): الخرائط اللونية لتوزيع الإجهادات في العظم حول البراغي في جميع النماذج



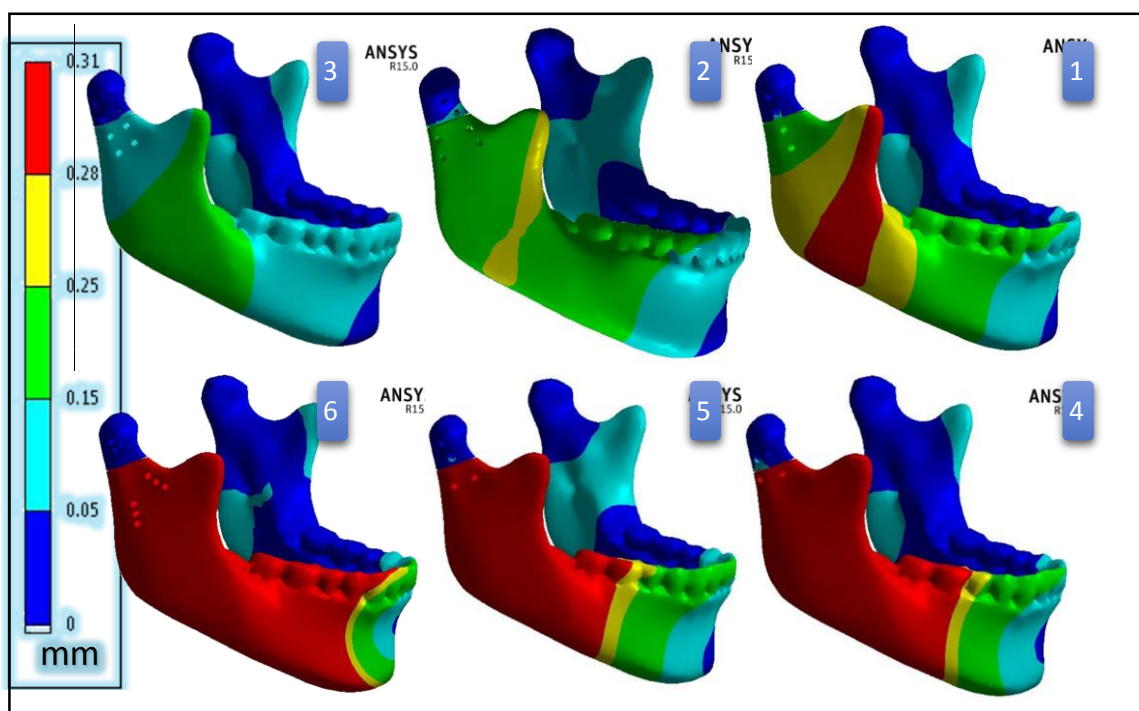
الشكل (3-9): مخطط بياني يوضح القيم العليا للإجهادات المتوزعة في العظم المحيط بالبراغي في نماذج المجموعة (م)



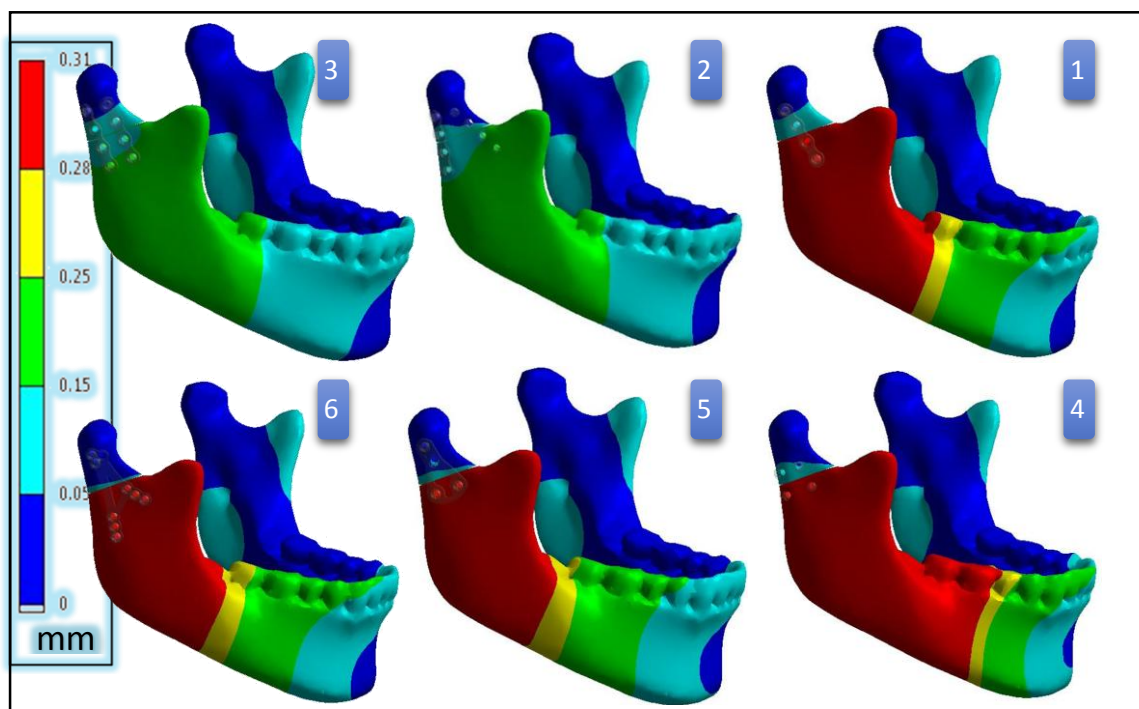
الشكل (3-10): مخطط بياني يوضح القيم العليا للإجهادات المتوزعة حول البراغي في نماذج المجموعة (س)

المجموعة (م): نلاحظ من الجدول (3-1) أن القيمة العليا كانت في النموذج (م6)  
(1390 ميكرومتر) والمنخفضة في النموذج (م3) (110 ميكرومتر).

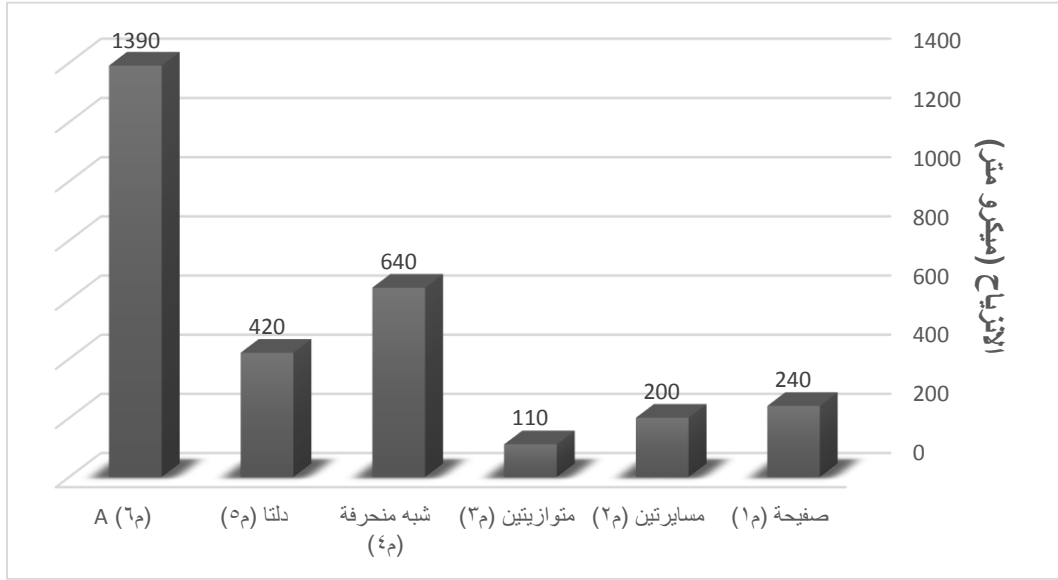
المجموعة (س): من الجدول (3-2) نلاحظ أن القيمة العليا كانت في النموذج  
(س4) (650 ميكرومتر) والقيمة المنخفضة في النموذجين (س2،3) (160 ميكرومتر).



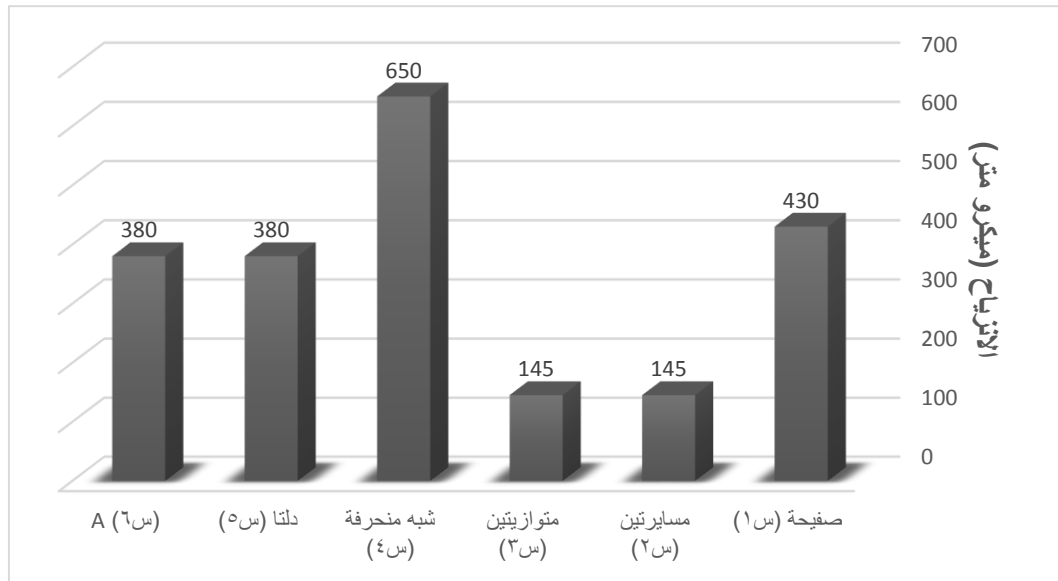
الشكل (3-11): الخرائط اللونية للانزياحات الكلية في نماذج المجموعة (م)



الشكل (3-12): الخرائط اللونية للانزياحات الكلية في نماذج المجموعة (س)



الشكل (3-13): مخطط بياني يوضح القيم العليا للانزياحات الحاصلة في سطح الكسر في نماذج المجموعة (م)



الشكل (3-14): مخطط بياني يوضح القيم العليا للانزياحات الحاصلة في سطح الكسر في نماذج المجموعة (س)

## الباب الرابع:

# المناقشة

#### 4- الباب الرابع: المناقشة

تتزايد في الآونة الأخيرة حالات رضوض اوجه والفكين وذلك بسبب ازدياد العنف وحوادث السير وخاصة الدراجات النارية (Venugopal et al., 2010)، ولعلّ أكثر المواضيع جلباً للنقاش في مجال رضوض الوجه والفكين هي أذيّات لقمة الفك السفلي، وأخذت الدراسات تتناقص وسائل تشخيص أذيّات اللقمة وكسورها وتصنيفاتها المختلفة ثم طرق معالجتها (المحافظة والجراحية) (Spinzia et al., 2014, Aquilina et al., 2013)، إضافة لنتائج معالجتها (Kommers et al., 2013).

تعتبر المعالجة الجراحية بال تثبيت الصلب والرد المفتوح (ORIF) المعالجة الأمثل لكسور عنق وقاعدة لقمة الفك السفلي (وخاصة عند وجود انزياح أو خلع) (Neff et al., 2014, Lee et al., 2010, Zhou et al., 2013)، إذ أظهرت نتائج معالجة أفضل من المعالجة بالطريقة المحافظة، وفي الآونة الأخيرة انتقلت الأبحاث إلى حيّز آخر من النقاش حول التقنية الأمثل لتثبيت كسور عنق وقاعدة اللقمة، وكون هذه المنطقة تتعرّض لقوى وإجهادات كبيرة إضافة للتعقيد الذي تميّز به هذه المنطقة (مجاوراتها التشريحية الهامة وحجمها الصغير) كلّ هذا جعل اختيار تقنية التثبيت المثلى تحدياً أمام الباحثين والعلماء (Aquilina et al., 2013, Spinzia et al., 2014, Xiangdong et al., 2012, Vollmer et al., 2000, Kotrashetti et al., 2013, Vesnaver et al., 2012, Neff et al., 2014).

تفاوتت نتائج الأبحاث فيما بينها حول التقنية الأمثل لتثبيت مثل هذه الكسور (Costa et al., 2012)، من أجل ذلك كانت هذه الدراسة لمقارنة تقنيات تثبيت كسور عنق لقمة الفك السفلي.

ومن أجل إجراء هذه المقارنات كان لا بدّ من دراسة المثبتات ميكانيكياً والذي لا يمكن القيام به إلا من خلال الدراسات المخبرية أو المحوسبة.

شهد العالم في الآونة القريبة تطوراً مذهلاً في كافة الأصعدة وخاصة في مجال التكنولوجيا وأتمتة الحواسيب، ومواكبة لهذا التطور أصبح هناك دراسات تعتمد بشكل كلي أو شبه كلي على البرامج الحاسوبية (Yijunliu, 2012).

#### 4-1- مناقشة المواد والطرائق:

##### • 4-1-1- مناقشة عينة الدراسة

تمّ اختيار العينة بحيث يكون الفك السفلي خالٍ من التشوهات أو الأسنان المفقودة وأقرب ما يمكن للفك السفلي الطبيعي ذي الإطباق السليم، وهذا الاختيار هام جداً في هذا البحث إذ تمّ الاستفادة من الكثافة الشعاعية الموجودة في الصورة لإعطاء النموذج خواصّه المادية، وبالتالي وجود تشوهات في الفك (كالأكياس أو الأورام) ستغيّر من خواصّ النموذج وبالتالي تؤثر بشكل مباشر على توزّع الإجهادات ضمن النموذج.

وكون الدراسة تقارن بين تقنيات التثبيت المختلفة فقد تمّ اختيار كسور عنق اللقمة المنخفضة والمتوسطة وذلك لسهولة تطبيق المثبتات (سريرياً) في هذه المستويات من الكسور مقارنة بكسور عنق اللقمة المرتفعة.

أما بالنسبة لتقنيات التثبيت المختارة فقد تمّ اختيار أكثر أربع تقنيات مستخدمة (النماذج 1 و2 و3 و4) (Aquilina et al., 2013, Meyer et al., 2007) إضافة لتقنيتين حديثتين (النماذج 5 و6) (Lauer et al., 2007b, Kozakiewicz and Swiniarski, 2014).

#### • 4-1-2- نموذج الفك السفلي:

تعددت التفاصيل المستخدمة في الدراسات التي قامت بنمذجة الفك السفلي وذلك بحسب هدف الدراسة والمكان المدروس إضافة للكثير من المتغيرات الأخرى. ومما يلاحظ أن الدراسات سلكت **سبيلين اثنين** في الدراسات الحاسوبية باستخدام العناصر المنتهية ترجع إلى **رأيين مختلفين**، الرأي الأول يعتمد على **التبسيط** والثاني يعتمد على **الدقة** العالية، ولكل من أصحاب الرأيين وجهته العلمية، فأصحاب الرأي الأول يرون أن التبسيط لا يؤثر على النتائج المدروسة ويوفر الوقت والجهد، أما أصحاب الرأي الثاني فهم يرون أن الدقة تحاكي البنية العظمية في الحالة الطبيعية وبالتالي كلما زادت دقة النماذج كلما اقتربت الدراسات من محاكاة الحالة الطبيعية وبالتالي مصداقية أعلى للنتائج، **والتماس الدقة العالية** هو ما **رجّحه الباحث** في أغلب الخطوات المتبعة في هذه الدراسة، وهذه أحد ما يميّز الدراسات الحاسوبية على المخبرية حيث يمكن محاكاة تعقيدات كثيرة وتفاصيل دقيقة لا يمكن للدراسات المخبرية أن تقوم بمحاكاتها؟؟؟. وبالمجمل يمكن القول أن الدراسات التي اعتمدت على نماذج مبسطة من الفك السفلي يمكن أن يستفاد منها بالحصول على نتائج إجمالية ولكن لا يمكن أن تستخدم من أجل تحديد أيّ التقنيات أفضل في معالجة ما (FAISAL MOEEN, 2014).

وسندخل بشيء من التفصيل حول هذه المعايير المدروسة في الدراسات السابقة:

#### • 4-1-3- محاكاة الفك السفلي بشكل كامل أم جزئي؟

العلماء الذين سلكوا طريق التبسيط قاموا بنمذجة نصف فك أو حتى جزء من الفك يحوي المنطقة المدروسة فقط (مكان لتطبيق القوة والمنطقة المدروسة وتثبيت القطعة من الجانبين) (الشربجي المزيك، 2016، الشربجي المزيك، 2015، Mohamad Hameed et al., 2014)، أما الذين سلكوا طريق الدقة فقاموا بنمذجة فك سفلي كامل بغض النظر عن الدراسة المجراة (الغزي، 2015، Darwich and Darwich, 2016، Darwich et al., 2015).

ولا شك أنه يمكن التبسيط في هذه النقطة في دراسات معينة وعمليات ميكانيكية محدّدة إلا أن أصحاب هذا الرأي وابتعدوا عن الشكوك والأوهام وبقيت نتائجهم مقبولة من هذه الناحية لأنها وافقت البيئة الطبيعية المدروسة باحتوائها للبنية الكاملة للفك.

وبالرغم من الصعوبات الإضافية التي ستواجه الباحث في نمذجة كامل الفك إلا أن هذا ما تمّ اختياره في هذه الدراسة وذلك لمقاربة الحالة الطبيعية قدر الإمكان والحصول على نتائج مقبولة غير مشوّهة، بالرغم من إمكانية نمذجة الرّاد واللّقمة اليمنى فقط دون الدخول في تعقيد البنية السنية كما في دراسة (de Jesus et al., 2014).

#### • 4-1-4- محاكاة الشروط الحدية (القوى الشاذة والتقييدات)

بالنسبة لمحاكاة القوى الشاذة (العضلات) نلاحظ أن بعض أصحاب الرأي الأول (التبسيط) قاموا بتبسيط العملية الماضغة وذلك من خلال محاكاة محصّلة الفعل العضلي الماضع الممثل بالقوة المطبّقة على مكان من القوس السنية، وبالتالي استغنى عن محاكاة عمل العضلات بتفاصيلها (مكان التأثير والشدة والاتجاه)، وتتوّعت محصّلة القوى المستخدمة في مثل هذه الأبحاث وذلك حسب شدة القوى الماضغة التي يتطلّبها البحث (Darwich et al., 2016, Albougha et al., 2015).

أما من سلك طريق الدقّة فقد قام بمحاكاة عمل كلّ حزمة عضلية على حده بمكان ارتكازها وشدّة قوتها واتجاه حزمها، حتى أنّ بعض من سلك التعقيد الزائد عن اللزوم قام باستنباط مرتكز الحزم العضلية من صور الرنين المغناطيسي الخاصة بنفس المريض (صاحب الحالة المدروسة) ليكون موافق بدقّة لمكان ارتكاز الحزم العضلية سريرياً وبالتالي نتائج مماثلة تقريباً للحالة السريرية (Kozakiewicz and Swiniarski, 2014)، وهذا الأخير قد يكون مفيداً في الدراسات السريرية الخاصة (الدراسات الفردية على المرضى) دون الدراسات العامة التي لا يهم فيها تغيّر مكان ارتكاز الحزمة العضلية مليمتر واحد أو اثنين وذلك لوجود الاختلافات التشريحية بين البشر بشكل طبيعي ولكن بالتأكيد ضمن الحدود التشريحية المقبولة.

تفاوتت الدراسات في محاكاة عمل الحزم العضلية العاملة أثناء رفع الفك السفلي، دراسات أجرت محاكاة لعمل 3 أزواج من الحزم العضلية فقط (مع تجاهل العضلة الجناحية الوحشية) (Wagner et al., 2002)، وأخرى قامت بمحاكاة عمل أربعة أزواج (Aquilina et al., 2013) وأخرى خمسة أزواج (مع اعتبار بطني الماضغة أو الصدغية)، وأخرى ستة أزواج (مع اعتبار ثلاثة أجزاء للصدغية) (Parascandolo et al., 2010, Huang et al., 2015) وغير ذلك.

وفي هذه الدراسة اختار الباحث محاكاة عمل الحزم العضلية ذات الأثر الأكبر على الفك أثناء الإطباق وهي سبعة أزواج (الماضغة بجزءيها والجناحيتين الأنسية والوحشية والصدغية بثلاثة أجزاء) وهذا متوافق مع دراسة (Lovald et al., 2009, Ichim et al., 2007)، وذلك لأهمية عمل العضلة الجناحية الوحشية في المضغ الطبيعي (Commisso et al., 2015).

ولكن ما تميّز في هذه الدراسة أنه وإن لم يتمّ استخدام صورة رنين مغناطيسي لتحديد أماكن الحزم العضلية إلا أنه قد تمّ اعتماد المراجع التشريحية لتحديد أماكن ارتكاز كل عضلة في مكانها الصحيح، إضافة لتوحيد أماكن ارتكاز الحزم العضلية بين جميع النماذج من خلال جعلها سطوح منفصلة Surfaces وبالتالي توحيد هذا المتغيّر في جميع النماذج المدروسة (التفصيل في الفقرة 2-3-1-1 ص 81).

هذا التماثل الذي تمّ تحصيله باستخدام هذه الطريقة كان من شبه المستحيل تحقيقه باستخدام الطريقة التقليدية التي كانت تعتمد على تحديد العقد بشكل يدوي في برنامج Ansys وبالتالي لا بد من بقاء بعض الفروقات البسيطة في عدد العقد التي تطبق عليها القوى العضلية.

أما تحقيق التماثل في شدة القوة العضلية فهذا كان من خلال توحيد القيم التي أعطيت لكلّ عضلة، أما اتجاه الحزم واتجاه القوة فهنا لفئة بسيطة قام بها الباحث وهي أنه جعل مبدأً للإحداثيات متماثلاً بين كل النماذج (التفصيل في فقرة ج-2 من الفصل 2-4-1 ص101).

#### • 4-1-5- محاكاة بنية عظم الفك السفلي

تعتبر عظام الكائن الحي من البنى المعقّدة ومن الصعب للغاية محاكاة مثل هذه البنى وذلك بسبب عدم تجانس بنيتها Non-Homogeneous وكونها تستجيب استجابات مختلفة للقوى الخارجية باختلاف اتجاه القوة Anisotropic (FAISAL MOEEN, 2014). وقد تنوّعت آراء الباحثين في محاكاة عظم الفك السفلي بين أربعة آراء: أبسطها الرأي الذي اعتبر عظم الفك عبارة عن بنية متجانسة (عظم كثيف فقط) وبالتالي إعطاء جميع العناصر نفس الخواص الميكانيكية (Parascandolo et al., 2010, Kozakiewicz and Swiniarski, 2014)، وأصحاب هذا الرأي قد ابتعدوا كثيراً عن محاكاة الواقع إذ اعتبروا جميع البنية الداخلية للفك لها نفس الخواص! وهذا مناقض للطبيعة العظمية في الفك السفلي.

أما أصحاب الرأي الثاني فقد اعتبروا أن الفك ذو بنيتين أساسيتين فقط (العظم القشري والعظم الاسفنجي)، فقاموا بمحاكاة الفك بتقسيم النموذج إلى طبقتين من المواد (خارجية هي العظم الكثيف وداخلية هي العظم الاسفنجي) (Darwich et al., 2016, Conci et al., 2014, de Jesus et al., 2015)، وأصحاب هذا الرأي أيضاً جانبوا الواقع إذ افترضوا أن العظم القشري في منطقة الذقن متماثل مع العظم في منطقة اللقمة! بينما نجد أن الكثافات تختلف في هذه المناطق في الحالة الطبيعية.

أما أصحاب الرأي الثالث فقد اعتبروا أن الفك ذو عظم قشري متغير الخواص بحسب المنطقة فقاموا بتقسيم النموذج إلى طبقتين (كنموذج الرأي الثاني) ومن ثم قاموا بتقسيم العظم القشري إلى ست مناطق (منطقة الذقن، الجسم، الزاوية، الرأد، الناتئ المنقاري والناتئ اللقيمي) ولكل منطقة منها خواصاً تماثل مقابلتها من الفك الطبيعي (Lovald et al., 2009)، وهذا أقرب إلى الواقع من سابقه إلا أنهم افترضوا أن العظم الاسفنجي متجانس في جميع الفك وهذه نقطة ضعف هذا الرأي.

وكون الواقع على خلاف الآراء السابقة كان لا بدّ من ظهور رأي يحاول الاقتراب من الحالة الطبيعية، فكان الرأي الذي نظر أنّ الفك ذو بنية غير متجانسة ومواد مختلفة الخواص في كلّ نقطة من نقاطه، فتمّ البحث عن طريقة لمقاربة الواقع قدر الإمكان، وتمّ تحقيق ذلك من خلال إعطاء كلّ عنصر خواصّه المادية المستقلة تبعاً لكثافته الشعاعية في الصور المقطعية المحوسبة المرجعية (FAISAL MOEEN, 2014, Aquilina et al., 2013, 2015, Wagner et al., 2002, Aquilina et al., 2015)، وبهذه الطريقة يكون كلّ عنصر من بنية المُجسّم له خواصه المادية بحسب الكثافة الشعاعية في الصورة، وأمكن تقسيم البنى الموجودة في الفك بحسب الكثافة الشعاعية إلى ثمانية أقسام، القسم الأول يضمّ مجموعة العناصر الأقلّ كثافة في الصورة الشعاعية (نقي العظم والنسيج اللبي)، والأقسام الباقية تضمّ العظم الاسفنجي بكثافتين والملاط والعاج والعظم الكثيف والميناء بكثافتين ورؤوس الحدبات (الشكل 2-16)، وكان هذا الرأي الأقرب محاكاةً للبنية الطبيعية للفك، وهو ما اعتمد عليه الباحث في هذه الدراسة.

### • 4-2-1- توزع الانفعالات في كامل الفك:

وجدت هذه الدراسة أن أقرب النماذج إلى الحالة الطبيعية كانت نماذج تقنيتي الصفيحة شبه المنحرفة والصفيحتين المسائرتين وهذا يعطي أفضلية لهاتين التقنيتين على باقي التقنيات.

ولوحظ أيضاً أن تقنيات الصفيحة A والصفيحة المستقيمة الوحيدة والصفيحة دلتا كانت أبعد عن الحالة الطبيعية وهذا يجعلنا ننتبه من هذه التقنيات ونعيد النظر فيها مرة أخرى.

إلا أن هذا التحليل لا يعطي نتائج دقيقة وذلك بسبب إعطائه القيمة العظمى في كامل النموذج وبالتالي قد تكون هذه القيمة ناتجة عن توضع عنصر من العناصر تحت إجهاد مرتفع وبالتالي ظهور قيمة مرتفعة شاذة.

اتفقنا مع دراسة (Darwich et al., 2016) في هذه النقطة حيث وجدوا أن تقنية الصفيحة شبه المنحرفة ذات نتائج مقارنة للفك الطبيعي ونصحوا باستخدام هذه التقنية.

أما في دراسة (Aquilina et al., 2013) فقد نصحوا باستخدام تقنية الصفيحتين على تقنية الصفيحة المستقيمة الوحيدة إذ أبدت نماذج الصفيحتين نتائج قريبة من الحالة الطبيعية وكذلك هذه الدراسة توافقت مع نصيحتهم.

خالفنا دراسة (Kozakiewicz and Swiniarski, 2014) فقد نصحا باستخدام تقنية A المصممة من قبلهم وذلك بعد مقارنتها مع تقنية الصفيحة شبه المنحرفة ذات الثقوب التسعة إلا أنهما لم يقارنا نتائج هذه التقنية مع نموذج لا يحتوي كسر وهذا سبب الخلاف الذي نشأ بين دراستهما وهذه الدراسة.

أظهرت هذه الدراسة أن جميع تقنيات التثبيت كانت قادرة على تحمل الإجهادات التي تتوزع خلال الصفائح والبراغي وذلك عند تثبيتها لكسور عنق لقمة الفك السفلي باستثناء تقنية الصفيحة المستقيمة الوحيدة حيث تجاوزت حد الالتواء الخاص بخليطة التيتانيوم (MPa 500<949,853) وهذا يؤكد فشل هذه التقنية في تثبيت كسور عنق اللقمة.

وهذا ما جعل الجراحين مؤخراً يتجنبون هذه التقنية في التثبيت لما صادفهم من اختلاطات سريرية لاحقة للعمل الجراحي قد تصل في مراحل إلى كسر الصفيحة (Wagner et al., 2002).

اتفقنا بهذه النتيجة مع دراسة (Kozakiewicz and Swiniarski, 2014) حيث وجد أن صفيحة A كانت قادرة على تحمل الإجهادات المتوزعة خلالها عند تثبيت كسور عنق اللقمة. وهذه النتائج كانت موافقة للنتائج التي ظهرت في دراسة (Meyer et al., 2008, Meyer et al., 2007) حيث وجدوا قدرة الصفيحة شبه المنحرفة على تحمل الإجهادات وهذا ما وجدناه في هذه الدراسة.

خالفنا دراسة (de Jesus et al., 2014) حيث وجدوا أن تقنيتي الصفيحة شبه المنحرفة والصفيحتين المسابرتين كانتا غير قادرتين على تحمل الإجهادات (أقل قيمة للإجهادات 988 ميغا باسكال) وبالتالي احتمال إصابة المثبتات بالكسر أو انحلال البراغي، وهذا الاختلاف في النتائج يُعزى إلى الاختلاف في توصيف النماذج وخاصة في محاكاة القوى العضلية، حيث قاموا بتطبيق قوة عمودية على منطقة أرجاء الجانب السليم تساوي (250 نيوتن) وهذه قيمة تعتبر مرتفعة جداً مقارنة بالحالة السريرية التالية للعملية الجراحية، حيث تقل فعالية الحزم العضلية الماضغة لتصبح المحصلة النهائية لها (100 نيوتن) (Haug et al., 2002, Arbag et al., 2008, Vajgel et al., 2012).

لاحظ (Wagner et al., 2002) في دراستهم أنه كلما انخفض الكسر ازدادت الإجهادات وهذا الاستنتاج لم يكن دقيقاً حيث ظهر من خلال معطيات هذه الدراسة أن الإجهاد يعتمد في زيادته أو نقصانه على عدة معطيات ليس فقط مكان الكسر (مثل شكل الصفيحة ومكان توضعها بالنسبة لحافة الرأ) وقد خالفنا هذه الملاحظة في نتائجنا.

لوحظ بالرجوع إلى الخرائط اللونية:

- أن القيم الأعظمية للإجهادات كانت متوضعة في منتصف المثبتة -بجوار خط الكسر- وهذا يتوافق مع دراسة (de Jesus et al., 2014) وهي النقطة الواصلة بين طرفي الكسر والتي تتركز عليها جميع الإجهادات الواردة إليها.
- في النموذج (س2) أن القيم العليا كانت متركزة في الصفيحة الخلفية وهذا موافق لما في دراسة (Aquilina et al., 2013).
- هناك اختلاف بسيط بين تقنيتي الصفيحتين المسائرتين والمتوازيتين، حيث لوحظ تركّز الإجهادات على مساحة صغيرة في نموذج المتوازيتين بينما كانت الإجهادات موزعة على مساحة أوسع في نموذج المسائرتين، وهذه النتيجة تعطي أفضلية بسيطة لتقنية المتوازيتين على تقنية المسائرتين، وهذا ما توافق مع دراسة (Aquilina et al., 2013).
- مكان تركّز الإجهادات الأعظمية يختلف باختلاف موقع الكسر، فعلى سبيل المثال توضع الإجهادات الأعظمية في تقنية الصفيحتين المسائرتين في الصفيحة الأمامية في الكسر المتوسط بينما توضع في الصفيحة الخلفية في الكسر المنخفض، وهذه النتيجة تتوافق مع وما وجدوه (Aquilina et al., 2013) في دراستهم حيث تركّزت الإجهادات على الصفيحة الخلفية علماً أن الكسر المنمذج في دراستهم هو كسر منخفض.

#### • 4-2-3- الامتصاص العظمي حول البراغي:

ظهرت أعلى قيمة من الإجهادات في تقنية الصفيحة المستقيمة الوحيدة وقد تجاوزت القيمة المعيارية (50 MPa) وكذلك بالنسبة لتقنية الصفيحة شبه المنحرفة في مستويي الكسر المدروسين، كما تجاوزت هذه القيمة تقنية الصفيحة دلتا في الكسر المنخفض، وهذه النتائج تشكك بفعالية هذه التقنيات إذ أن الامتصاص العظمي حول البراغي مؤكد في هذه الحالات، إلا أن هذا الامتصاص لم يظهر على كامل طول البراغي وإنما تركّز في النقاط القريبة من السطح الخارجي العظمي.

هذه النتائج قد تعني حدوث انحلال في البراغي في هذه التقنيات وهذا يعتمد على أمور أخرى فيزيولوجية كآلية الشفاء العظمي وإعادة القولية الطبيعية وبالتالي قد لا يظهر هذا الامتصاص العظمي سريريًا.

أما باقي التقنيات فقد أظهرت فعالية عالية ولم يحدث الامتصاص في أي من نماذج التقنيات المدروسة الباقية (تقنيات الصفيحتين والصفيحة A).

ولوحظ من خلال الخرائط اللونية أن هناك تفاضل تقنية الصفيحتين المتوازيتين على المسيرتين حيث تركّزت القيم العظمي للإجهادات في نقاط قليلة في نموذجي المتوازيتين على خلاف نموذجي المسيرتين حيث توزّعت الإجهادات الأعظمية على مساحات أوسع، وبالتالي أفضلية تقنية المتوازيتين على تقنية المسيرتين من هذا الجانب، وهذا متوافق مع دراسة (Aquilina et al., 2013).

بعد الاختلاطات الكثيرة التي واجهها الجراحون والتي تلت معالجة كسور لقمة الفك السفلي بالرد المفتوح أخذوا يبحثون عن طريقة لحماية المعالجة من الفشل فوجدوا أن تحقيق الاستقرار الجيد للكسر هو أفضل وسيلة لمنع الاختلاطات ( Cabrini Gabrielli et al., 2003)، وهذا يعتمد بشكل كبير على مكان توضع الصفيحة بالنسبة للكسر ( Derfoufi et al., 2011).

وجدت هذه الدراسة أن جميع التقنيات كانت غير قادرة على تحقيق الاستقرار المطلوب (حيث تجاوزت القيمة المعيارية 150 ميكرون) ما عدا تقنية الصفيحتين المستقيمتين، وهذا يدل على أن تقنية الصفيحتين هي التقنية المختارة من بين التقنيات الباقية لثبيت كسور عنق اللقمة أما باقي التقنيات فقد فشلت في تحقيق الاستقرار اللازم لحدوث الشفاء العظمي. وظهرت أعلى قيم الانزياح في تقنية الصفيحة A ( $1390 \mu m$ ) وبالتالي اعتبرت هذه التقنية مضادة استطباب لمعالجة كسور عنق اللقمة، ويمكن تفسير هذه النتيجة إلى أن البراغي في الجزء القريب (اللقي) قريبة جداً من بعضها مما يعطي فائدة محدودة جداً لهذه البراغي، إضافة إلى بعد البراغي في القطعة القريبة عن البراغي في القطعة البعيدة وهذا يعطي إمكانية حركة أكبر للكسر، وبما أن القيمة العظمى ظهرت في الكسر المتوسط أعلى مما في الكسر المنخفض وذلك يشير إلى أنه كلما اقترب خط الكسر من البراغي السفلية (البعيدة عن بعضها البعض) كلما حققت استقراراً أكبر.

اختلفت قيم الانزياح الخاصة بتقنية الصفيحة A في هذه الدراسة كثيراً عن القيم التي ظهرت في دراسة (Kozakiewicz and Swiniarski, 2014) حيث كانت أعلى قيمة للانزياح في دراستهم حوالي ( $70 \mu m$ )، ويمكن عزو هذا الاختلاف إلى الاختلاف في طريقة تخصيص المواد إضافة إلى الاختلاف في محاكاة شكل وموقع خط الكسر، حيث قاموا بافتراض أن الفك ذو كثافة موحدة (كثافة العظم القشري 14.7 GPa) وهذا أعطى متانة للعظم في منطقة اللقمة (كثافة أعلى من الحالة الطبيعية) وبالتالي قيم انزياح منخفضة.

ولوحظ أيضاً تميّز تقنية الصفيحتين المتوازيتين (أعلى قيمة للانزياح 145 ميكرون) على تقنية الصفيحتين المسابرتين (أعلى قيمة للانزياح 200 ميكرون) وبالتالي تفضيل تقنية الصفيحتين المتوازيتين على غيرها من التقنيات، بالرغم من أن محاور القوى العضلية تشير إلى أن تقنية الصفيحتين المسابرتين هي القادرة على مقاومة هذه القوى إلا أنه يبدو أن الأثر الذي تسببه العضلة الصدغية والجناحية الوحشية صغير جداً أو ربما أن تقنية المتوازيتين هي القادرة على مقاومة محصلة القوى العضلية بشكل أفضل، وهذه النتيجة المفاجئة هي ذاتها التي ظهرت في دراسة (Aquilina et al., 2013)، وهي تخالف نتيجة دراسة (Parascandolo et al., 2010) حيث فضلوا تقنية المسابرتين على المتوازيتين.

توافقت النتائج النهائية مع دراسات (Wagner et al., 2002, Parascandolo et al., 2010, Aquilina et al., 2013, de Jesus et al., 2014, Darwich et al., 2016, Conci et al., 2015, Rai, 2012, Hua et al., 2014, Pilling et al., 2010) وذلك بتفضيل تقنية الصفيحتين على الصفيحة المستقيمة الوحيدة.

حيث بيّنت دراسة (Parascandolo et al., 2010, Tominaga et al., 2006, ) أن تقنية الصفيحة الوحيدة المستقيمة لم تكن قادرة على تحمّل الاجتهادات في كسور اللقمة المرتفعة والمتوسطة، وبالتالي كان الاقتراح إما بزيادة ثخانة الصفيحة أو جعل البراغي ثنائية القشرة أو إضافة صفيحة ثانية وهذا ما تبين لنا في هذه الدراسة.

ويمكن عزو سبب تمايز الصفحتين على غيرها إلى إمكانية وضع الصفحتين في المكان الأمثل لمقاومة الإجهادات بحسب الشكل التشريحي للمنطقة وحسب مستوى الكسر، حيث توضع الصفحة الخلفية بشكل موازي للمحور الطولي للقامة لمقاومة القوى الضاغطة والمحافظة على الارتفاع العمودي للرأ، وتقوم أيضاً بحماية الصفحة الأمامية من خطورة الإجهادات المرتفعة التي قد تؤدي إلى انزياح لاحق في الجزء اللقيمي.

أما الصفحة الوحيدة فهي غير كافية لمقاومة القوى الميكانيكية والفيزيولوجية الناتجة عن الإطباق وتحديداً قوى الشد الأمامية الخلفية التي تؤدي لانزياح الجزء اللقيمي، وهذا ما يجعل من الضروري استخدام صفحة ثانية، وقد فضّلت تقنية الصفحتين المسابرتين في دراسة (Parascandolo et al., 2010) وذلك بسبب توضع الصفحة الأمامية بشكل مائل وبالتالي مسابرة خطوط الشد التي توجد أسفل الثلمة السينية مما يتفق مع مبدأ (Champy) للمثبتات المستقرة وظيفياً. الذي يقول أنه يجب وضع المثبتات في مناطق الشد لمعاكسة الفعل الذي يقوم بتحريك طرفي الكسر (Costa et al., 2012)، وهذه الاستراتيجية تتفق أيضاً مع دراسة (Meyer et al., 2006).

لذا يعتبر حالياً استخدام صفحتين متوضعتين بشكل صحيح هو الحل الأفضل لتثبيت كسور عنق اللقمة اعتماداً على تثبيتها المستقر.

وافقنا الدراسات ( Meyer et al., 2006, Meyer et al., 2008, de Jesus et al., 2014) حيث وجدوا أن الصفيحة شبه المنحرفة قادرة على تحمل الإجهادات عند استخدامها في تثبيت كسور عنق اللقمة وهذا كان جلياً في دراستنا، ولكن خالفناهم في تفضيل هذه التقنية على غيرها وذلك بسبب عدم نجاحها في تحقيق الاستقرار المطلوب إضافة لحدوث الامتصاص حول البراغي في نقاط معينة.

قام (Zrounba et al., 2014) بإجراء دراسة تراجعية على حالات كسور عنق اللقمة المعالجة بالرد المفتوح واستنتجوا أن تقنية التثبيت باستخدام الصفيحة شبه المنحرفة والتثبيت بصفيحة الدلتا كانتا ناجحتين دون أي اختلاطات واستطاعت كل منهما أن تتحمل الإجهادات دون أن تصاب بالكسر، وهذه النتيجة قد تُشعر بوجود خلل في نتائج دراسة الباحث إلا أن هذا يؤكد فكرة أن نتائج الدراسات العناصر المنتهية لا يمكن إسقاطها على الحالات السريرية بشكل مباشر لوجود عوامل كثيرة قد تؤثر على النتائج منها القوة العضلية للمريض التالية للعمل الجراحي والرض الجراحي أثناء العمل ومكان توضع الصفائح وغيرها.

في دراسة مقطعية أجريت لمعرفة الاستراتيجيات الحديثة التي يقوم باستخدامها الجراحون لمعالجة كسور لقمة الفك السفلي (Neff et al., 2014) وجدوا أن التوجه الحديث نحو استخدام الصفائح ثلاثية الأبعاد (3-D configurations) مثل الصفيحة شبه المنحرفة وخاصة في كسور عنق اللقمة المنخفضة وقاعدة اللقمة، وسبب هذا التفضيل هو حجمها الصغير إذ أن أحد أهم أهداف الجراحة العظمية هو تقليل حجم المواد الأجنبية المستخدمة في التثبيت قدر الإمكان (Kim and Nam, 2001, Malhotra et al., 2012)، أيضاً بسبب ابتعاد الجراحين عن الصفيحة المستقيمة إذ فشلت تقنية الصفيحة المستقيمة الوحيدة في مقاومة الإجهادات (وبالتالي انكسارها في كثير من الحالات)، أما تقنية الصفيحتين فهي صعبة التطبيق بسبب ضيق المكان (حيث لا بد من تثبيتها بأربع براغي في القطعة اللقمية الصغيرة) لذلك كان توجه الجراحين نحو الصفيحة شبه المنحرفة حيث تقوم بتأمين الاستقرار المطلوب مع تسليخ قليل للنسج الرخوة وشكلها يسمح للجراح بوضعها في المكان المناسب للتثبيت (Meyer et al., 2007, Meyer et al., 2006).

#### 4-3- خلاصة المناقشة:

نخلص بالقول إلى أن:

- عملية اختيار تقنية التثبيت المناسبة تعتمد على معايير متعددة ليس فقط المعايير الميكانيكية بل هناك معايير حيوية أخرى منها المدخل الجراحي المستخدم ومقدار تسليخ النسج الرخوة وتشريح المنطقة المصابة وشكل الكسر ومكان توضع وعمر المريض وتعاون وحالته الصحية (Villarreal et al., 2004)، لذا من غير المجدي أن نسقط نتائج دراسات العناصر المنتهية إلى الواقع السريري بشكل مباشر.
- التقنية الأكثر ملاءمة لتثبيت كسور عنق اللقمة الفك السفلي هي تقنية الصفحتين المستقيمتين وخاصة بالشكل المتوازي، بينما كانت أسوأ التقنيات في تثبيت مثل هذه الكسور هي تقنية الصفحة المستقيمة الوحيدة، أما باقي التقنيات فقد تفاوتت نتائجها بين القبول والرفض.

الجدول (4-1): يبين خلاصة النتائج المقبولة والمرفوضة لجميع النماذج

|                  | صفحة | مسايرتين | متوازيتين | شبه المنحرفة | دلتا | A     |   |
|------------------|------|----------|-----------|--------------|------|-------|---|
|                  | 1    | 2        | 3         | 4            | 5    | 6     |   |
| الشاهد           | 9440 | 8000     | 9000      | 6700         | 9300 | 11000 | م |
| 5200 $\mu$       | 8290 | 5120     | 5970      | 5930         | 8610 | 9410  | س |
| حد الالتواء      | 949  | 400      | 334       | 118          | 318  | 225   | م |
| 500 MPa          | 853  | 219      | 366       | 233          | 373  | 277   | س |
| حد الامتصاص      | 80   | 36       | 27        | 60           | 25   | 39    | م |
| 50 MPa           | 62   | 43       | 40        | 63           | 70   | 37    | س |
| الانزياح المقبول | 240  | 200      | 110       | 640          | 420  | 1390  | م |
| 150 $\mu$ m      | 430  | 145      | 145       | 650          | 380  | 380   | س |

مرفوض

وسط

مقبول

## الباب الخامس:

# الاستنتاجات

## 1- الباب الخامس: الاستنتاجات

وفق معطيات هذه الدراسة يمكن أن نخلص إلى الاستنتاجات التالية:

1- اختلاف توزع الإجهادات في العناصر المثبتة ومنطقة اللقمة باختلاف تقنية التثبيت المستخدمة.

2- جميع التقنيات أبدت قدرتها على تحمّل الإجهادات المرتفعة في عنق اللقمة عدا تقنية الصفيحة المستقيمة، إلا أن تحمّل التقنية للإجهادات غير كافٍ لاختيارها بل لا بد من النظر إلى المعايير الأخرى.

3- تعتبر تقنية الصفيحة المستقيمة الوحيدة غير قادرة على تحمّل الإجهادات عند تثبيت كسور عنق لقمة الفك السفلي.

4- فشل تقنية الصفيحة A وتقنية الصفيحة شبه المنحرفة وكذلك تقنية صفيحة الدلتا في تحقيق الاستقرار المطلوب، ولا بدّ من إعادة النظر في فعالية هذه التقنيات في تثبيت كسور عنق اللقمة.

5- حدوث الامتصاص العظمي حول براغي التثبيت في تقنية الصفيحة شبه المنحرفة عند تثبيت كسور عنق اللقمة.

6- حدوث الامتصاص العظمي حول براغي التثبيت عند استخدام تقنية الدلتا في تثبيت كسور عنق اللقمة ذات المستوى المنخفض.

7- أبدت تقنية الصفيحتين النتائج الأفضل في تثبيت كسور عنق لقمة الفك السفلي.

8- تميّزت تقنية الصفحتين المتوازيتين على تقنية الصفحتين المسيرتين بشكل بسيط

في تحقيق الاستقرار عند تثبيت كسور عنق اللقمة.

9- ومما يلعب دوراً في توزّع الإجهادات في منطقة اللقمة مستوى الكسر حيث نجد أنّ

توزّع الإجهادات يختلف في عنق اللقمة من الأعلى إلى الأسفل ومن الأمام إلى

الخلف، حيث توضع الإجهادات الأعظمية في كسور العنق المتوسطة في الحافة

الأمامية بينما توضع في الحافة الخلفية في الكسور المنخفضة (وهذا كان جلياً في

تقنية الصفحتين).

## الباب السادس:

# المقترحات والتوصيات

## 6-1- المقترحات

- 1- إجراء دراسة محوسبة باستخدام تقنية العناصر المنتهية تقارن توزّع الإجهادات على عنق اللقمة عند إصابتها بالكسور المختلفة.
- 2- إجراء دراسة محوسبة باستخدام تقنية العناصر المنتهية لدراسة أثر طريقة تخصيص المواد للعظم على النتائج النهائية.
- 3- إجراء دراسة محوسبة باستخدام تقنية العناصر المنتهية لدراسة تأثير أشكال العض المختلفة على توزّع الإجهادات في منطقة عنق اللقمة.
- 4- إجراء دراسة محوسبة باستخدام تقنية العناصر المنتهية لاختبار تقنيات التثبيت الأحدث مثل الصفيحة لمبدا والصفيحة القابلة للامتصاص استخدام أحدث الطرق لمحاكاة الفك السفلي.
- 5- إجراء دراسة تراجعية لحالات كسور عنق لقمة الفك السفلي التي تمت معالجتها في مشفى جراحة الفم والوجه والفكين في كلية طب الأسنان - جامعة دمشق بهدف مقارنة نسبة حدوث الاختلاطات بعد تطبيق تقنيات التثبيت المختلفة.
- 6- إجراء أبحاث علمية تهدف لتطوير تقنيات تثبيت سهلة التطبيق وتحقق الاستقرار المطلوب وتقاوم الإجهادات المطبقة المتوزعة في منطقة عنق اللقمة.

## 6-2- التوصيات

- 1- استخدام تقنية العناصر المنتهية في دراسة السلوك الميكانيكي الحيوي في المجالات المختلفة نظراً لسهولة استخدامها ودقة نتائجها وتوفيراً للجهد والمال والوقت.
- 2- استخدام تقنية الصفحتين المستقيمتين في تثبيت كسور عنق لقمة الفك السفلي.
- 3- عدم استخدام تقنية الصفحة المستقيمة الوحيدة في تثبيت كسور عنق القمة.
- 4- عدم إسقاط نتائج الدراسات الميكانيكية الحيوية المحوسبة على الاستعمال السريري مباشرة وذلك لوجود عوامل غير ميكانيكية تؤثر على اختيار تقنية التثبيت.

الباب السابع:

المراجع

## A

1. ABBAS, I., ALI, K. & MIRZA, Y. B. 2003. Spectrum of mandibular fractures at a tertiary care dental hospital in Lahore. *J Ayub Med Coll Abbottabad*, 15, 12-4.
2. ABDEL-GALIL, K. & LOUKOTA, R. 2010. Fractures of the mandibular condyle: evidence base and current concepts of management. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 48, 520-6.
3. ABDUL KADIR, M. R., HARON, H., KAMSAH, N. & NORDIN, N. 2008. Miniplates Orientation for Fracture Fixation of the Mandibular Condyle. *4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering*.
4. ALBOUGHHA, S., ALBOGHA, M. H., DARWICH, M. A. & DARWICH, K. 2015. Evaluation of the rigidity of sagittal split ramus osteotomy fixation using four designs of biodegradable and titanium plates a numerical study. *Oral Maxillofac Surg*, 19, 281-5.
5. ANDERSSON, J., HALLMER, F. & ERIKSSON, L. 2007. Unilateral mandibular condylar fractures: a 31-year follow-up of non-surgical treatment. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 36, 310-4.
6. ANDRADE, V. C., LUTHI, L. F., SATO, F. L., POZZER, L., OLATE, S. & ALBERGARIA-BARBOSA, J. R. 2015. An in vitro comparison between two different designs of sagittal split ramus osteotomy. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*, 41, 133-8.

7. AQUILINA, P., CHAMOLI, U., PARR, W. C., CLAUSEN, P. D. & WROE, S. 2013. Finite element analysis of three patterns of internal fixation of fractures of the mandibular condyle. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 51, 326–31.
8. AQUILINA, P., PARR, W. C., CHAMOLI, U. & WROE, S. 2015. Finite element analysis of patient-specific condyle fracture plates: a preliminary study. *Cranio Maxillofac Trauma Reconstr*, 8, 111–6.
9. ARBAG, H., KORKMAZ, H. H., OZTURK, K. & UYAR, Y. 2008. Comparative evaluation of different miniplates for internal fixation of mandible fractures using finite element analysis. *J Oral Maxillofac Surg*, 66, 1225–32.
10. ASPRINO, L., CONSANI, S. & DE MORAES, M. 2006. A comparative biomechanical evaluation of mandibular condyle fracture plating techniques. *J Oral Maxillofac Surg*, 64, 452–6.

**B, C**

11. BOOLE JR, H. M., AMOROSO P, YORE M 2001. 5196 mandible fractures among 4381 active duty army soldiers, 1980 to 1998. *The Laryngoscopy*.
12. BRANDT, M. T. & HAUG, R. H. 2003. Open versus closed reduction of adult mandibular condyle fractures: a review of the literature regarding the evolution of current thoughts on management. *J Oral Maxillofac Surg*, 61, 1324–32.
13. CABRINI GABRIELLI, M. A., REAL GABRIELLI, M. F., MARCANTONIO, E. & HOCHULI-VIEIRA, E. 2003. Fixation of mandibular fractures with 2.0-mm miniplates: review of 191 cases. *J Oral Maxillofac Surg*, 61, 430–6.

14. CENZI, R., BURLINI, D., ARDUIN, L., ZOLLINO, I., GUIDI, R. & CARINCI, F. 2009. Mandibular condyle fractures: evaluation of the Strasbourg Osteosynthesis Research Group classification. *J Craniofac Surg*, 20, 24–8.
15. CHAMPY, M. & LODDE, J. P. 1977. Study of stresses in the fractured mandible in man. Theoretical measurement and verification by extensometric gauges in situ. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*, 78, 545–51.
16. CHAMPY, M., LODDE, J. P., JAEGER, J. H. & WILK, A. 1976. [Mandibular osteosynthesis according to the Michelet technic. I. Biomechanical bases]. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*, 77, 569–76.
17. CHEN, C. T., FENG, C. H., TSAY, P. K., LAI, J. P. & CHEN, Y. R. 2011. Functional outcomes following surgical treatment of bilateral mandibular condylar fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 40, 38–44.
18. CHOI, B. H., YI, C. K. & YOO, J. H. 2001. Clinical evaluation of 3 types of plate osteosynthesis for fixation of condylar neck fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 59, 734–7; discussion 738.
19. CHOUDHARY, A. B., MOTWANI, M. B., DEGWEKAR, S. S., BHOWATE, R. R., BANODE, P. J., YADAV, A. O. & PANCHBHAI, A. 2011. Utility of digital volume tomography in maxillofacial trauma. *J Oral Maxillofac Surg*, 69, e135–40.
20. CIENFUEGOS, R., CORNELIUS, C.-P., ELLIS III, E. & KUSHNER, G. 2008. *AO Classification of condylar process and head Fractures* [Online]. Available: [https://www2.aofoundation.org/wps/portal/!ut/p/a0/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOKN\\_A0M3D2DDbz9\\_UMMDRyDXQ3dw9wMDAzMjfULsh0VAbWjLW0!/?bone=CMF&classification=91-Condylar%20process%20and%20head%2C%20simple%20and%20complex&segment=Mandible&showPage=diagnosis&teaserTitle=&contentUrl=srg/91/01-Diagnosis/ao\\_srg\\_diag\\_condyle\\_all.jsp](https://www2.aofoundation.org/wps/portal/!ut/p/a0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOKN_A0M3D2DDbz9_UMMDRyDXQ3dw9wMDAzMjfULsh0VAbWjLW0!/?bone=CMF&classification=91-Condylar%20process%20and%20head%2C%20simple%20and%20complex&segment=Mandible&showPage=diagnosis&teaserTitle=&contentUrl=srg/91/01-Diagnosis/ao_srg_diag_condyle_all.jsp).

21. COMMISSO, M. S., MARTINEZ-REINA, J., OJEDA, J. & MAYO, J. 2015. Finite element analysis of the human mastication cycle. *J Mech Behav Biomed Mater*, 41, 23–35.
22. CONCI, R. A., TOMAZI, F. H., NORITOMI, P. Y., DA SILVA, J. V., FRITSCHER, G. G. & HEITZ, C. 2015. Comparison of Neck Screw and Conventional Fixation Techniques in Mandibular Condyle Fractures Using 3-Dimensional Finite Element Analysis. *J Oral Maxillofac Surg*, 73, 1321–7.
23. COSTA, F. W., BEZERRA, M. F., RIBEIRO, T. R., POUCHAIN, E. C., SABOIA VDE, P. & SOARES, E. C. 2012. Biomechanical analysis of titanium plate systems in mandibular condyle fractures: a systematized literature review. *Acta Cir Bras*, 27, 424–9.
24. CRAIG, R. & POWERS, J. 2002. *Restorative dental materials*, Missouri. Mosby



25. DARWICH, K. & DARWICH, M. A. 2015. Virtual Planning Of Surgical Mandibular Reconstruction Using Digital Images and Finite Elements Technic (A Case Study). *Journal of Damascus university for medical sciences*, 31.
26. DARWICH, M. A., ALBOGHA, M. H., ABDELMAJEED, A. & DARWICH, K. 2016. Assessment of the Biomechanical Performance of 5 Plating Techniques in Fixation of Mandibular Subcondylar Fracture Using Finite Element Analysis. *J Oral Maxillofac Surg*, 74, 794.
27. DE JESUS, G. P., VAZ, L. G., GABRIELLI, M. F., PASSERI, L. A., T, V. O., NORITOMI, P. Y. & JUR GENS, P. 2014. Finite element evaluation of three methods of stable fixation of condyle base fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 43, 1251–6.

28. DEFABIANIS, P. 2003. TMJ fractures in children and adolescents: treatment guidelines. *J Clin Pediatr Dent*, 27, 191–9.
29. DELACHAPELLE, C. & LAUDE, M. 1974. [Structural analysis of the mandible]. *Orthod Fr*, 45, 427–32.
30. DERFOUFI, L., DELAVAL, C., GOUDOT, P. & YACHOUH, J. 2011. Complications of condylar fracture osteosynthesis. *J Craniofac Surg*, 22, 1448–51.
31. DINGMAN, R. & NATVING, P. 1964. *Surgery of facial fracture*, Philadelphia and London.



32. ECKELT, U. & GERBER, S. 1981. Draw-screw osteosynthesis with a novel osteosynthesis instrument set in mandibular condyle fractures. *Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl*, 69, 485–90.
33. ECKELT, U. & HLAWITSCHKA, M. 1999. Clinical and radiological evaluation following surgical treatment of condylar neck fractures with lag screws. *J Craniomaxillofac Surg*, 27, 235–42.
34. ECKELT, U., SCHNEIDER, M., ERASMUS, F., GERLACH, K. L., KUHLSCH, E., LOUKOTA, R., RASSE, M., SCHUBERT, J. & TERHEYDEN, H. 2006. Open versus closed treatment of fractures of the mandibular condylar process; a prospective randomized multi-centre study. *Journal of Craniomaxillofacial Surgery*, 34, 306–314.

35. ELLIS, E., 3RD, PALMIERI, C. & THROCKMORTON, G. 1999. Further displacement of condylar process fractures after closed treatment. *J Oral Maxillofac Surg*, 57, 1307–16; discussion 1316–7.
36. ELLIS, E., 3RD, THROCKMORTON, G. S. & PALMIERI, C. 2000. Open treatment of condylar process fractures: assessment of adequacy of repositioning and maintenance of stability. *J Oral Maxillofac Surg*, 58, 27–34; discussion 35.
37. ELLIS E 3RD., M. K., EL-ATTAR A, ARBOR A, 1985. Ten years of mandibular fractures: An analysis of 2137 cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*.

## F, G

38. FAISAL MOEEN, B., MSC (SINGAPORE) SALEHA NISAR, BDS NIMRA DAR, BDS 2014. A STEP BY STEP GUIDE TO FINITE ELEMENT ANALYSIS IN DENTAL IMPLANTOLOGY.
39. FERNANDEZ, J. R., GALLAS, M., BURGUERA, M. & VIANO, J. M. 2003. A three-dimensional numerical simulation of mandible fracture reduction with screwed miniplates. *J Biomech*, 36, 329–37.
40. FERRE, J. C., BARBIN J. Y., HELARY, J. L. & LUMINEAU, J. P. 1983. The suspension system of the mandible: biomechanical approach. *Orthod Fr*, 54, 589–604.
41. FLEMING, A. 1950. How I discovered penicillin. *J Med (Oporto)*, 6.

42. GEALH, W. C., COSTA, J. V., FERREIRA, G. M. & IWAKI FILHO, L. 2009. Comparative study of the mechanical resistance of 2 separate plates and 2 overlaid plates used in the fixation of the mandibular condyle: an in vitro study. *J Oral Maxillofac Surg*, 67, 738–43.
43. GENG, J., YAN, W. & XU, W. 2008. Application of the Finite Element Method in Implant Dentistry. *Springer*, 1–5.
44. GIROTTO, R., MANCINI, P. & BALERCIA, P. 2012. The retromandibular transparotid approach: our clinical experience. *J Craniomaxillofac Surg*, 40, 78–81.



45. HAIM, D., MULLER, A., LEONHARDT, H., NOWAK, A., RICHTER, G. & LAUER, G. 2011. Biomechanical study of the Delta plate and the TriLock Delta condyle trauma plate. *J Oral Maxillofac Surg*, 69, 2619–25.
46. HAKIM, S. G., WOLF, M., WENDLANDT, R., KIMMERLE, H., SIEG, P. & JACOBSEN, H. C. 2014. Comparative biomechanical study on three miniplates osteosynthesis systems for stabilisation of low condylar fractures of the mandible. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 52, 317–22.
47. HAMMER, B., SCHIER, P. & PREIN, J. 1997. Osteosynthesis of condylar neck fractures: a review of 30 patients. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 35, 288–91.
48. HAUG, R. H. & ASSAEL, L. A. 2001. Outcomes of open versus closed treatment of mandibular subcondylar fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 59, 370–5; discussion 375–6.

49. HAUG, R. H. & BRANDT, M. T. 2004 .Traditional versus endoscope–assisted open reduction with rigid internal fixation (ORIF) of adult mandibular condyle fractures: a review of the literature regarding current thoughts on management. *J Oral Maxillofac Surg*, 62, 1272–9.
50. HAUG, R. H. & BRANDT ,M. T. 2007. Closed reduction, open reduction, and endoscopic assistance: current thoughts on the management of mandibular condyle fractures. *Plast Reconstr Surg*, 120, 90S–102S.
51. HAUG, R. H., PETERSON, G. P. & GOLTZ, M. 2002. A biomechanical evaluation of mandibular condyle fracture plating techniques. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 60, 73–80.
52. HAUG RH, P. G., GOLTZ M. 2002. A biomechanical evaluation of mandibular condyle fracture plating techniques. *J Oral Maxillofac Surg*, 60, 73–80.
53. HLAWITSCHKA, M. & ECKELT, U. 2002. Clinical, radiological and axiographic examination after conservative functional treatment of intracapsular temporomandibular joint fractures. *Mund Kiefer Gesichtschir*, 6, 241–8.
54. HUA, X., KOU, Q., YI, X. & ZA, Z. 2014. Application and effective evaluation of rigid internal fixation with double plates in condylar fracture. *West China journal of stomatology*, 32, 575–7.
55. HUANG, H. L., SU, K. C., FUH, L. J., CHEN, M. Y., WU, J., TSAI, M. T. & HSU, J. T. 2015. Biomechanical analysis of a temporomandibular joint condylar prosthesis during various clenching tasks. *J Craniomaxillofac Surg*, 43, 1194–201.
56. HYDE, N., MANISALI, M., AGHABEIGI, B., SNEDDON, K. & NEWMAN, L. 2002. The role of open reduction and internal fixation in unilateral fractures of the mandibular condyle: a prospective study. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 40, 19–22.

## I, J

57. ICHIM, I., KIESER, J. A. & SWAIN, M. V. 2007. Functional significance of strain distribution in the human mandible under masticatory load: numerical predictions. *Arch Oral Biol*, 52, 465–73.
58. IKAI, M. & FUKUNAGA, T. 1968. Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int Z Angew Physiol*, 26, 26–32.
59. JAMES L. HIATT, L. P. G. 2010. Text book of head and neck anatomy. 4, 79–80.
60. JENSEN, T., JENSEN, J., NORHOLT, S. E., DAHL, M., LENK-HANSEN, L. & SVENSSON, P. 2006. Open reduction and rigid internal fixation of mandibular condylar fractures by an intraoral approach: a long-term follow-up study of 15 patients. *J Oral Maxillofac Surg*, 64, 1771–9.

## K

61. KANG-YOUNG CHOI, J.-D. Y., HO-YUN CHUNG, BYUNG-CHAE CHO 2012. Current Concepts in the Mandibular Condyle Fracture Management Part I: Overview of Condylar Fracture. *Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Kyungpook National University School of Medicine, Daegu, Korea*.
62. KANG, S. H., CHOI, E. J., KIM, H. W., KIM, H. J., CHA, I. H. & NAM, W. 2012. Complications in endoscopic-assisted open reduction and internal fixation of mandibular condyle fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 113, 201–6.

63. KARL, M., DICKINSON, A., HOLST, S. & HOLST, A. 2009. Biomechanical methods applied in dentistry: a comparative overview of photoelastic examinations, strain gauge measurements, finite element analysis and three-dimensional deformation analysis. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 17, 50–7.
64. KIM, Y. K. & NAM, K. W. 2001. Treatment of mandible fractures using low-profile titanium miniplates: preliminary study. *Plast Reconstr Surg*, 108, 38–43.
65. KLATT, J., POHLENZ, P., BLESSMANN, M., BLAKE, F., EICHHORN, W., SCHMELZLE, R. & HEILAND, M. 2010. Clinical follow-up examination of surgically treated fractures of the condylar process using the transparotid approach. *J Oral Maxillofac Surg*, 68, 611–7.
66. KLEINHEINZ, J. & MEYER, C. 2009a. Fractures of the mandibular condyle: basic considerations and treatment. In: ECKELT, U. (ed.) *History of treatment concepts*.
67. KLEINHEINZ, J. & MEYER, C. 2009b. Fractures of the mandibular condyle: basic considerations and treatment. In: MEYER, C. (ed.) *Biomechanics*. London : IBRA/Quintessence.
68. KLEINHEINZ, J. & MEYER, C. 2009c. Fractures of the mandibular condyle: basic considerations and treatment. In: Parascandolo, S., Spinzia, A., Mattarocci, M., Fabbrocino, F., Pasquino, M. & Califano, L. (ed.) *Two-plate fixation*. London : IBRA/Quintessence.
69. KLEINHEINZ, J. & MEYER, C. 2009d. Fractures of the mandibular condyle: basic considerations and treatment. In: WERMKER, K. (ed.) *Incidence, etiology and classification of condylar fractures*. London : IBRA/Quintessence.

70. KOMMERS, S.C., VAN DEN BERGH, B. & FOROUZANFAR, T. 2013. Quality of life after open versus closed treatment for mandibular condyle fractures: a review of literature. *J Craniomaxillofac Surg*, 41, e221–5.
71. KORIOTH, T. W. & HANNAM, A. G. 1994. Mandibular forces during simulated tooth clenching. *J Orofac Pain*, 8, 178–89.
72. KOTRASHETTI, S. M., LINGARAJ, J. B. & KHURANA, V. 2013. A comparative study of closed versus open reduction and internal fixation (using retromandibular approach) in the management of subcondylar fracture. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*, 115, 7–11.
73. KOZAKIEWICZ, M. & SWINIARSKI, J. 2013. "A" shape plate for open rigid internal fixation of mandible condyle neck fracture. *J Craniomaxillofac Surg*.
74. KOZAKIEWICZ, M. & SWINIARSKI, J. 2014. "A" shape plate for open rigid internal fixation of mandible condyle neck fracture. *J Craniomaxillofac Surg*, 42, 730–7.
75. KRENKEL, C. 1992. Axial 'anchor' screw (lag screw with biconcave washer) or 'slanted-screw' plate for osteosynthesis of fractures of the mandibular condylar process. *J Craniomaxillofac Surg*, 20, 348–53.
76. KRENKEL, C. 1997. Treatment of mandibular–condylar fractures. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 5, 127–55.
77. KUPPERS, K. 1971. [Analysis of the functional structure of the human jaw]. *Ergeb Anat Entwicklungsgesch*, 44, 3–90.

79. LANDES, C. A., DAY, K., LIPPHARDT, R. & SADER, R. 2008. Closed versus open operative treatment of nondisplaced diacapitular (Class VI) fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 66, 1586–94.
80. LAUER, G., HAIM, D., PROFF, P., RICHTER, G., PRADEL, W., FANGHANEL, J., PILLING, E., GEDRANGE, T. & MAI, R. 2007a. Plate osteosynthesis of the mandibular condyle. *Ann Anat*, 189, 412–7.
81. LAUER, G., PRADEL, W., SCHNEIDER, M. & ECKELT, U. 2007b. A new 3-dimensional plate for transoral endoscopic-assisted osteosynthesis of condylar neck fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 65, 964–71.
82. LEE, J. W., LEE, Y. C. & KUO, Y. L. 2010. Reappraisal of the surgical strategy in treatment of mandibular condylar fractures. *Plast Reconstr Surg*, 125, 609–19.
83. LIMA, S. M., JR., ASPRINO, L., MOREIRA, R. W. & DE MORAES, M. 2011. Surgical complications of mandibular condylar fractures. *J Craniofac Surg*, 22, 1512–5.
84. LINDAHL, L. 1977. Condylar fractures of the mandible. I. Classification and relation to age, occlusion, and concomitant injuries of teeth and teeth-supporting structures, and fractures of the mandibular body. *Int J Oral Surg*, 6, 12–21.
85. LIU, G.-R. & QUEK, S. 2003. The finite element method: apractical course. *Butterworth-Heinemann, Oxford*.

86. LOUKOTA, R., ECKELT, U., DE BONT, L. & RASSE, M. 2005. Subclassification of fractures of the condylar process of the mandible. *Br J Oral Maxillofac Surg*.
87. LOVALD, S. T., KHRAISHI, T., WAGNER, J., BAACK, B., KELLY, J. & WOOD, J. 2006. Comparison of plate-screw systems used in mandibular fracture reduction: finite element analysis. *J Biomech Eng*, 128, 654-62.
88. LOVALD, S. T., WAGNER, J. D. & BAACK, B. 2009. Biomechanical optimization of bone plates used in rigid fixation of mandibular fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 67, 973-85.
89. LUO, S., LI, B., LONG, X., DENG, M., CAI, H. & CHENG, Y. 2011. Surgical treatment of sagittal fracture of mandibular condyle using long-screw osteosynthesis. *J Oral Maxillofac Surg*, 69, 1988-94.



90. MACLENNAN, W. 1952. Consideration of 180 cases of typical fractures of the mandibular condylar process. *Br J Plast Surg*, 5, 122-8.
91. MALHOTRA, K., SHARMA, A., GIRADDI, G. & SHAHI, A. K. 2012. Versatility of Titanium 3D Plate in Comparison with Conventional Titanium Miniplate Fixation for the Management of Mandibular Fracture. *J Maxillofac Oral Surg*, 11, 284-90.
92. MANISALI, M., AMIN, M., AGHABEIGI, B. & NEWMAN, L. 2003. Retromandibular approach to the mandibular condyle: a clinical and cadaveric study. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 32, 253-6.

93. MARKER, P., NIELSEN, A & BASTIAN, H. L. 2000a. Fractures of the mandibular condyle. Part 1: patterns of distribution of types and causes of fractures in 348 patients. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 38, 417–21.
94. MARKER, P., NIELSEN, A. & BASTIAN, H. L. 2000b. Fractures of the mandibular condyle. Part 2: results of treatment of 348 patients. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 38, 422–6.
95. MCLNERNEY, T. & TERZOPOULOS, D. 1995. A dynamic finite element surface model for segmentation and tracking in multidimensional medical images with application to cardiac 4D image analysis. *Computerized medical imaging and graphics*.
96. MERCIER, R., VANNEUVILLE, G., BRESSON, P., JOURDE, J., PERI, G. & VIALLET, J. F. 1970. [Osseous structure of the horizontal bands of the inferior maxilla. Contribution of radiographic technics]. *C R Assoc Anat*, 149, 891–901.
97. MEYER, C., KAHN, J. L., BOUTEMI, P. & WILK, A. 2002. Photoelastic analysis of bone deformation in the region of the mandibular condyle during mastication. *J Craniomaxillofac Surg*, 30, 160–9.
98. MEYER, C., MARTIN, E., KAHN, J. L. & ZINK, S. 2007. Development and biomechanical testing of a new osteosynthesis plate (TCP) designed to stabilize mandibular condyle fractures. *J Craniomaxillofac Surg*, 35, 84–90.
99. MEYER, C., SERHIR, L. & BOUTEMI, P. 2006. Experimental evaluation of three osteosynthesis devices used for stabilizing condylar fractures of the mandible. *J Craniomaxillofac Surg*, 34, 173–81.

100. MEYER, C., ZINK, S., CHATELAIN, B. & WILK, A. 2008. Clinical experience with osteosynthesis of subcondylar fractures of the mandible using TCP plates. *Journal of Craniomaxillofacial Surgery*, 36, 260–268.
101. MILES, B. A., POTTER, J. K. & ELLIS, E., 3RD 2006. The efficacy of postoperative antibiotic regimens in the open treatment of mandibular fractures: a prospective randomized trial. *J Oral Maxillofac Surg*, 64, 576–82.
102. MOHAMAD HAMEED, T., ALADEL .U. & WAHBEH, E. 2014. The Effect of Bone Quality on Stresses Around Dental Implants: A Finite Element Analysis Study. *Journal of Damascus university for medical sciences*, 30, 279–287.
103. MOHAMMED, S. & DESAI, H. 2014. Oral Hygiene & Health Basic Concepts of Finite Element Analysis and its Applications in Dentistry : An Overview.



104. NEFF, A., CHOSSEGROS, C., BLANC, J. L., CHAMPSAUR, P., CHEYNET, F., DEVAUCHELLE, B., ECKELT, U., FERRI, J., GABRIELLI, M. F., GUYOT, L., KOPPEL, D. A., MEYER, C., MULLER, B., PELTOMAKI, T., SPALLACCIA, F., VAROQUAUX, A., WILK, A., PITAK-ARNNOP, P. & INTERNATIONAL BONE RESEARCH, A. 2014. Position paper from the IBRA Symposium on Surgery of the Head–the 2nd International Symposium for Condylar Fracture Osteosynthesis, Marseille, France 2012. *J Craniomaxillofac Surg*, 42, 1234–49.

- 105.** NEFF, A., KOLK, A., DEPPE, H. & HORCH, H. H. 1999. [New aspects for indications of surgical management of intra-articular and high temporomandibular dislocation fractures]. *Mund Kiefer Gesichtschir*, 3, 24–9.
- 106.** NEFF, A., MUHLBERGER, G., KAROGLAN, M., KOLK, A., MITTELMEIER, W., SCHERUHN, D., HORCH, H. H., KOCK, S. & SCHIEFERSTEIN, H. 2004. [Stability of osteosyntheses for condylar head fractures in the clinic and biomechanical simulation]. *Mund Kiefer Gesichtschir*, 8, 63–74.

**O, P**

- 107.** OSBORN, J. W. & BARAGAR, F. A. 1985. Predicted pattern of human muscle activity during clenching derived from a computer assisted model: symmetric vertical bite forces. *J Biomech*, 18, 599–612.
- 108.** PALMIERI, C., ELLIS, E., 3RD & THROCKMORTON, G. 1999. Mandibular motion after closed and open treatment of unilateral mandibular condylar process fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 57, 764–75; discussion 775–6.
- 109.** PARASCANDOLO, S., SPINZIA, A., PARASCANDOLO, S., PIOMBINO, P. & CALIFANO, L. 2010. Two load sharing plates fixation in mandibular condylar fractures: biomechanical basis. *J Craniomaxillofac Surg*, 38, 385–90.
- 110.** PARK, J. M., JANG, Y. W., KIM, S. G., PARK, Y. W., ROTARU, H., BACIUT, G. & HURUBEANU, L. 2010. Comparative study of the prognosis of an extracorporeal reduction and a closed treatment in mandibular condyle head and/or neck fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 68, 2986–93.

111. PILLING, E., ECKELT, U., LOUKOTA, R., SCHNEIDER, K. & STADLINGER, B. 2010. Comparative evaluation of ten different condylar base fracture osteosynthesis techniques. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 48, 527–31.
112. PITAK-ARNNOP, P., PAUSCH, N. C., DHANUTHAI, K., SAPPAYATOSOK, K., NGAMWANNAGUL, P., BAUER, U., SADER, R., RAPIDIS, A. D., HERVE, C. & HEMPRICH, A. 2010. Endoscope-assisted submandibular sialadenectomy: a review of outcomes, complications, and ethical concerns. *Eplasty*, 10, 36.
113. PROCOPIO, A. 2012. BIOMECHANICS OF THE DISTAL RADIO-ULNAR JOINT: FINITE ELEMENT STUDY
114. PRUIM, G. J., DE JONGH, H. J. & TEN BOSCH, J. J. 1980. Forces acting on the mandible during bilateral static bite at different bite force levels. *J Biomech*, 13, 755–63.
115. PRUIM, G. J., TEN BOSCH, J. J. & DE JONGH, H. J. 1978. Jaw muscle EMG-activity and static loading of the mandible. *J Biomech*, 11, 389–95.

**Q, R**

116. QIU, Y. T., YANG, C. & CHEN, M. J. 2010. Endoscopically assisted reconstruction of the mandibular condyle with a costochondral graft through a modified preauricular approach. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 48, 443–7.
117. RAI, A. 2012. Comparison of single vs double noncompression miniplates in the management of subcondylar fracture of the mandible. *Ann Maxillofac Surg*, 2, 141–5.

118. RALLIS, G., MOUROUZIS, C., AINATZOGLOU, M., MEZITIS, M. & ZACHARIADES, N. 2003. Plate osteosynthesis of condylar fractures: a retrospective study of 45 patients. *Quintessence Int*, 34, 45–9.
119. ROCTON, S., CHAINE, A., ERNENWEIN, D., BERTOLUS, C., RIGOLET, A., BERTRAND, J. C. & RUHIN, B. 2007. Mandibular fractures: epidemiology, therapeutic management, and complications in a series of 563 cases. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*, 108, 3–10; discussion 10–2.
120. ROENTGEN, W. 1896. On a new kind of rays. *Journal of the Franklin Institute*, 141.
121. ROWE, N. & KILLEY, H. 1955. *Fractures of the facial skeleton*, Edinburgh, E & S Livingstone.

S

122. SAWAZAKI, R., LIMA JUNIOR, S.M., ASPRINO, L., MOREIRA, R. W. & DE MORAES, M. 2010. Incidence and patterns of mandibular condyle fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 68, 1252–9.
123. SCHENK, R. & WILLENEGGER, H. 1963. [on the Histological Picture of So–Called Primary Healing of Pressure Osteosynthesis in Experimental Osteotomies in the Dog]. *Experientia*, 19, 593–5.
124. SCHNEIDER, M., ECKELT, U., REITEMEIER, B., MEISSNER, H., RICHTER, G., LOUKOTA, R. & STADLINGER, B. 2010. Stability of fixation of diacapitular fractures of the mandibular condylar process by ultrasound–aided resorbable pins in pigs. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 49, 297–301.

125. SCHNEIDER, M., ERASMUS, F., GERLACH, K. L., KUHLSCH, E., LOUKOTA, R. A., RASSE, M., SCHUBERT, J., TERHEYDEN, H. & ECKELT, U. 2008. Open reduction and internal fixation versus closed treatment and mandibulomaxillary fixation of fractures of the mandibular condylar process: a randomized, prospective, multicenter study with special evaluation of fracture level. *J Oral Maxillofac Surg*, 66, 2537–44.
126. SCHNEIDER, M., LAUER, G. & ECKELT, U. 2007. Surgical treatment of fractures of the mandibular condyle: a comparison of long-term results following different approaches – functional, axiographical, and radiological findings. *J Craniomaxillofac Surg*, 35, 151–60.
127. SCHON, R., SCHRAMM, A., GELLRICH, N. C. & SCHMELZEISEN, R. 2003. Follow-up of condylar fractures of the mandible in 8 patients at 18 months after transoral endoscopic-assisted open treatment. *J Oral Maxillofac Surg*, 61, 49–54.
128. SEEMANN, R., SCHICHO, K., REICHWEIN, A., EISENMENGER, G., EWERS, R. & WAGNER, A. 2007. Clinical evaluation of mechanically optimized plates for the treatment of condylar process fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 104, e1–4.
129. SHINOHARA, E. H. & MARTINI, M. Z. 2006. 'Double barrel' 2.0mm mini-plates to fix fractures of the neck of the mandibular condyle. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 44, 166.
130. SICHER, H. & DUBRUL, E. 1970. *Oral anatomy*, St Louis: C.V. Mosby.
131. SINGH, V., BHAGOL, A., GOEL, M., KUMAR, I. & VERMA, A. 2010. Outcomes of open versus closed treatment of mandibular subcondylar fractures: a prospective randomized study. *J Oral Maxillofac Surg*, 68, 1304–9.

132. SMETS, L. M., VAN DAMME, P. A. & STOELINGA, P. J. 2003. Non-surgical treatment of condylar fractures in adults: a retrospective analysis. *J Craniomaxillofac Surg*, 31, 162–7.
133. SNELL, R. S. 2012. Clinical anatomy by regions. 9, 569–570, 574.
134. SPIESSL, B. & SCHROLL, K. 1972. Fractures of the condylar neck and head. *In: HIGST, H. (ed.) Textbook of Specific Fractures and Dislocations.*
135. SPINZIA, A., PATRONE, R., BELLI, E., DELL'AVERSANA ORABONA, G., UNGARI, C., FILIACI, F., AGRILLO, A., DE RIU, G., MELONI, S. M., LIBERATORE, G. & PIOMBINO, P. 2014. Open reduction and internal fixation of extracapsular mandibular condyle fractures: a long-term clinical and radiological follow-up of 25 patients. *BMC Surg*, 14, 68.
136. STIESCH-SCHOLZ, M., SCHMIDT, S. & ECKARDT, A. 2005. Condylar motion after open and closed treatment of mandibular condylar fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 63, 1304–9.
137. SUGIURA, T., HORIUCHI, K., SUGIMURA, M. & TSUTSUMI, S. 2000. Evaluation of threshold stress for bone resorption around screws based on in vivo strain measurement of miniplate. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 1, 165–70.
138. SZABO, B. & BABUŠKA, I. 1991. *Finite element analysis* [Online]. Available: [http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=JsCg-QWUT28C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Finite+Element+Analysis&ots=jRusZVnyiO&sig=RvH9w\\_6H7eNtBofaKwbHSWc3cgg](http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=JsCg-QWUT28C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Finite+Element+Analysis&ots=jRusZVnyiO&sig=RvH9w_6H7eNtBofaKwbHSWc3cgg)

139. TAKENOSHITA, Y., ISHIBASHI, H. & OKA, M. 1990. Comparison of functional recovery after nonsurgical and surgical treatment of condylar fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 48, 1191–5.
140. TAMS, J., VAN LOON, J. P., OTTEN, B. & BOS, R. R. 2001. A computer study of biodegradable plates for internal fixation of mandibular angle fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 59, 404–7; discussion 407–8.
141. TANG, W., GAO, C., LONG, J., LIN, Y., WANG, H., LIU, L. & TIAN, W. 2009. Application of modified retromandibular approach indirectly from the anterior edge of the parotid gland in the surgical treatment of condylar fracture. *J Oral Maxillofac Surg*, 67, 552–8.
142. THOMA, K. 1954. Treatment of condylar fractures. *J Oral Surg (Chic)*, 12.
143. THOREN, H., IIZUKA, T., HALLIKAINEN, D., NURMINEN, M. & LINDQVIST, C. 1997. An epidemiological study of patterns of condylar fractures in children. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 35, 306–11.
144. THROCKMORTON, G. S. & DECHOW, P. C. 1994. In vitro strain measurements in the condylar process of the human mandible. *Arch Oral Biol*, 39, 853–67.
145. THROCKMORTON, G. S., ELLIS, E., 3RD & HAYASAKI, H. 2004. Masticatory motion after surgical or nonsurgical treatment for unilateral fractures of the mandibular condylar process. *J Oral Maxillofac Surg*, 62, 127–38.

146. TOMINAGA, K., HABU, M., KHANAL, A., MIMORI, Y., YOSHIOKA, I. & FUKUDA, J. 2006. Biomechanical evaluation of different types of rigid internal fixation techniques for subcondylar fractures. *J Oral Maxillofac Surg*, 64, 1510–6.
147. TROST, O., TROUILLOUD, P. & MALKA, G. 2009. Open reduction and internal fixation of low subcondylar fractures of mandible through high cervical transmasseteric anteroparotid approach. *J Oral Maxillofac Surg*, 67, 2446–51.
148. TSIKLAKIS, K., SYRIOPOULOS, K. & STAMATAKIS, H. C. 2004. Radiographic examination of the temporomandibular joint using cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol*, 33, 196–201.

U, V

149. UNDT, G., KERMER, C., RASSE, M., SINKO, K. & EWERS, R. 1999. Transoral miniplate osteosynthesis of condylar neck fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 88, 534–43.
150. VAJGEL, A., CAMARGO, I. B., WILLMERSDORF, R. B., DE MELO, T. M., FILHO, J. R. L. & DE HOLANDA VASCONCELLOS, R. J. 2012. Comparative Finite Element Analysis of the Biomechanical Stability of 2.0 Fixation Plates in Atrophic Mandibular Fractures. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 71, 335–342.
151. VALIATI, R., IBRAHIM, D., ABREU, M. E., HEITZ, C., DE OLIVEIRA, R. B., PAGNONCELLI, R. M. & SILVA, D. N. 2008. The treatment of condylar fractures: to open or not to open: A critical review of this controversy. *Int J Med Sci*, 5, 313–8.

152. VENUGOPAL, M. G., SINHA, R., MENON, P. S., CHATTOPADHYAY, P. K. & ROY CHOWDHURY, S. K. 2010. Fractures in the Maxillofacial Region: A Four Year Retrospective Study. *Med J Armed Forces India*, 66, 14–7.
153. VESNAVER, A., AHCAN, U. & ROZMAN, J. 2012. Evaluation of surgical treatment in mandibular condyle fractures. *J Craniomaxillofac Surg*, 40, 647–53.
154. VILLARREAL, P. M., MONJE, F., JUNQUERA, L. M., MATEO, J., MORILLO, A. J. & GONZALEZ, C. 2004. Mandibular condyle fractures: determinants of treatment and outcome. *J Oral Maxillofac Surg*, 62, 155–63.
155. VOGT, A., ROSER, M. & WEINGART, D. 2005. Transparotidian approach to surgical management of condylar neck fractures. A prospective study. *Mund Kiefer Gesichtschir*, 9, 246–50.
156. VOLLMER, D., MEYER, U., JOOS, U., VEGH, A. & PIFFKO, J. 2000. Experimental and finite element study of a human mandible. *J Craniomaxillofac Surg*, 28, 91–6.

**W, X, Y**

157. WAGNER, A., KRACH, W., SCHICHO, K., UNDT, G., PLODER, O. & EWERS, R. 2002. A 3-dimensional finite-element analysis investigating the biomechanical behavior of the mandible and plate osteosynthesis in cases of fractures of the condylar process. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 94, 678–86.
158. WAGNER A, K. W., SCHICHO K, UNDT G, PLODER O, EWERS R 2002. A 3-dimensional finite-element analysis

investigating the biomechanical behavior of the mandible and plate osteosynthesis in cases of fractures of the condylar process. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 94, 678–86.

**159.** WASSMUND, M. 1927. Frakturen und Luxationen des Gesichtsschädels unter Berücksichtigung der Komplikationen des Hirnschädels. *Ihre Klinik und Therapie*.

**160.** WASSMUND, M. 1934. Über Luxationsfrakturen des Kiefergelenks. *Dtsch Kieferch*.

**161.** WOLF, E. & ECKELT, U. 1987. [Investigations into the early stages of bone fracture healing under traction screw osteosynthesis following osteotomy of the condylar process in minipigs]. *Dtsch Z Mund Kiefer Gesichtschir*.85–179 ,11 ,

**162.** XIANGDONG, Q. I., LIMIN, M. A. & SHIZHEN, Z. 2012. The influence of the closing and opening muscle groups of jaw condyle biomechanics after mandible bilateral sagittal split ramus osteotomy. *J Craniomaxillofac Surg*, 40, e159–64.

**163.** YANG, W. G .CHEN, C. T., TSAY, P. K. & CHEN, Y. R. 2002. Functional results of unilateral mandibular condylar process fractures after open and closed treatment. *J Trauma*, 52, 498–503.

**164.** YIJUNLIU 2012. Three-dimensional finite element analysis of the stress distribution and displacement in different fixation methods of bilateral sagittal split ramus osteotomy. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 38(5), 271.

165. ZACHARIADES, N., MEZITIS, M., MOUROUZIS, C., PAPADAKIS, D. & SPANOU, A. 2006. Fractures of the mandibular condyle: a review of 466 cases. Literature review, reflections on treatment and proposals. *J Craniomaxillofac Surg*, 34, 421–32.
166. ZACHARIADES N, M. M., MOUROUZIS C, PAPADAKIS D, SPANOU A 2006. Fractures of the mandibular condyle: areviw of 466 cases. *J Craniomaxillofac Surg*.
167. ZHOU, H. H., LIU, Q., CHENG, G. & LI, Z. B. 2013. Aetiology, pattern and treatment of mandibular condylar fractures in 549 patients: a 22-year retrospective study. *J Craniomaxillofac Surg*, 41, 34–41.
168. ZROUNBA, H., LUTZ, J. C., ZINK, S. & WILK, A. 2014. Epidemiology and treatment outcome of surgically treated mandibular condyle fractures. A five years retrospective study. *J Craniomaxillofac Surg*, 42, 879–84.

## 7-2- المراجع العربية

169. الشرجي المزيك، رامي. 2015. تأثير اختلاف توزع الزرعات والأسنان الطبيعية على الإجهادات المطبقة على الجسور ذات الوصلات الصلبة الرابطة بينها باستخدام طريقة العناصر المنتهية (أطروحة ماجستير)، جامعة دمشق، دمشق.
170. الشرجي المزيك، محمد يامن. 2016. تحليل ميكانيكي حيوي لكسور زاوية الفك السفلي وتقنيات تثبيتها باستخدام طريقة العناصر المنتهية (أطروحة ماجستير)، جامعة دمشق، دمشق.
171. الغزي، رواد. 2015. دراسة تأثير القوى الخارجية الرضاة في آلية وتوضعات كسور الفك السفلي باستخدام تقنية تحليل العناصر المنتهية-دراسة مخبرية (أطروحة ماجستير)، جامعة دمشق، دمشق.

## المخلص:

تُعتبر اضطرابات وكسور لقمة الفك السفلي من الأمور الشائعة في جراحة الفم والوجه والفكين، وقد ارتفعت نسبة الإصابة بكسور اللقمة في العقود الأخيرة، وتتنوع التقنيات الجراحية المستخدمة في تثبيت هذه الكسور، وأجريت دراسات سريرية ومخبرية وحاسوبية على هذه الكسور تحديداً.

تهدف الدراسة إلى نمذجة مجسم ثلاثي الأبعاد يحاكي الفك السفلي الطبيعي مع كسر في عنق اللقمة اليمنى وتثبيتته باستخدام تقنيات مختلفة (صفائح وبراعي) وإجراء الاختبارات الميكانيكية على هذه النماذج ومقارنة النتائج فيما بين التقنيات المختلفة.

تم نمذجة 12 نموذج ضمن مجموعتين (ستة نماذج بكسر عنق متوسط وستة بكسر عنق سفلي)، إضافة لنموذج شاهد (بدون كسر)، وفي كل مجموعة ست تقنيات للتثبيت (صفحة مستقيمة - صفيحتين مستقيمتين مسابرتين - متوازيتين - صفيحة شبه منحرفة - صفيحة بشكل حرف دلتا - صفيحة بشكل حرف A).

في كل نموذج سبعة أزواج من الحزم العضلية (جزئي الماضغة وثلاثة أجزاء من الصدغية والجناحيتين)، وإطباق على الرحى الأولى اليسرى، وبنية غير متجانسة تعتمد بحسب الكثافة الشعاعية في الصورة المقطعية.

أجريت الاختبارات على قيم الانفعالات المكافئة في كامل الفك والإجهادات المكافئة في كل من العناصر المثبتة والعظم المحيط بالبراعي إضافة لقيم الانزياحات على سطح الكسر وتمّ مقارنتها فيما بينها.

أظهرت النتائج أن أعلى قيمة للإجهادات في المثبتات كانت في تقنية الصفیحة المستقيمة الوحيدة (853 MPa) تجاوزت حدّ الالتواء (500 MPa) بينما كانت القيمة في التقنيات الأخرى أخفض من هذا الحدّ، تجاوز القيمة المعيارية المقبولة (50 MPa) لإجهاد العظم حول البراغي في كلّ من تقنية الصفیحة المستقيمة الوحيدة (80 MPa) وتقنية شبه المنحرفة (63 MPa) وتقنية الدلتا (70 MPa)، تجاوز الحدّ المسموح به من الانزياح (150 ميكرون) في جميع تقنيات الصفیحة الواحدة.

بحسب معطيات البحث استنتج أن تقنية الصفیحتين كانت الأنسب والأمثل في تثبيت كسور عنق اللقمة مع تمايز بسيط لتقنية الصفیحتين المتوازيتين على تقنية المسایرتين، وأن تقنية الصفیحة المستقيمة الوحيدة كانت الأسوأ من بين التقنيات المدروسة، لم تتمكّن باقي التقنيات من تحقيق الاستقرار المطلوب، لا ينبغي إسقاط نتائج دراسات العناصر المنتهية على العمل السريري مباشرة لوجود عوامل أخرى تؤثر على اختيار تقنية التثبيت المناسبة.

الكلمات المفتاحية: الفك السفلي - كسور عنق اللقمة - تقنية العناصر المنتهية - التثبيت الداخلي الصلب.

## **Abstract:**

Mandibular condyle disorders and fractures have been considered as a touchy scope in oral and maxillofacial surgery. The incidence of its fractures rose in the last decades, and the osteosynthesis methods used to fixate these fractures vary from each other. A lot of clinical, in vitro and computational studies have been done on these fractures especially.

The aim of this study is to mimic a three dimensional model simulating nature mandible with right neck fracture fixated with several osteosynthesis methods (plates and screws), and to do mechanical analysis on these models comparing their results.

12 models have been modeled divided into two GROUPS (6 models with middle neck fracture and 6 models with low neck fracture), in addition to reference model (without fracture). Each group consist of six osteosynthesis methods (single straight plate, two straight plates with angulated configuration, two straight plates with parallel configuration, trapezoidal plate (TCP), Delta plate and A shaped plate).

Each model contain seven pairs of muscle trusses (Superficial and deep masseter, anterior, middle and posterior temporalis, medial and lateral pterygoid), occlusion on the first left molar, and non-homogeneous material depended on radiographic density on CT.

Analysis of von Mises strain distributed in whole mandible, von Mises stress distributed in osteosynthesis and bone surrounding screws and total deformation of the fracture surface were quantified and compared with each other.

Results showed that the highest stress in the osteosynthesis appeared in single straight plate method (853 MPa) exceeded fatigue limit whereas the other methods' stress didn't exceed this limit. Stress in bone surrounding screws exceeded in the single straight plate (80 MPa), TCP (63 MPa) and Delta plate the accepted value (50 MPa). In all of the methods depended on one plate the value of total deformation exceeded the acceptance value (150  $\mu$ ).

According to this study conditions it is concluded that the most suitable method could be used to fixate neck fractures was two straight plates and the parallel configuration was better than angulated configuration, the worst method was single straight plate between all studied methods, the remained method couldn't achieve the required stability, the results of studies with finite element method should not be directly transferred to clinical situations because of different factors affect the selection of the fitting method.

Keywords: Mandible; Condylar neck fractures; Finite Element Method; ORIF.

# الملحقات

## م- الملحقات: Appendices

م-1- قرار موافقة النشر في مجلة جامعة حلب:

Research journal of Aleppo University  
UNIVERSITY OF ALEPPO  
ALEPPO SYRIA

مجلة بحوث جامعة حلب  
جامعة حلب  
حلب - سورية

الرقم : 1587  
لتاريخ : 2016/4/27

### وثيقة نشر

الدكتور خالدون درويش      الدكتور محمد أيهم درويش  
قسم جراحة الفم والوجه و الفكين، كلية طب      قسم الأمتة الصناعية، كلية الهندسة التقنية،  
الأسنان، جامعة دمشق      جامعة طرطوس

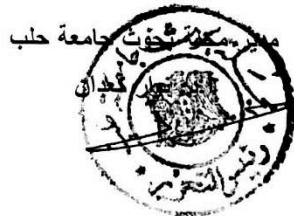
### لؤي حجازي

طالب دراسات عليا (ماجستير)  
قسم جراحة الفم والوجه و الفكين، كلية طب الأسنان، جامعة دمشق

يسرنا إعلامكم أنه تمت الموافقة على نشر بحثكم بعنوان:

دراسة ميكانيكية حيوية لأجهزة التثبيت العظمية الخاصة بكسور  
لقمة الفك السفلي أثناء الإطباق باستخدام تقنية العناصر المنتهية  
في العدد 108/ لعام 2016 من مجلة بحوث جامعة حلب سلسلة العلوم الطبية، علماً  
بأن البحث ورد للمجلة بتاريخ 2016/2/28 وقبل للنشر بتاريخ 2016/4/27.

وتفضلوا بقبول فائق التحية.



الشكل م-1: قرار موافقة النشر في مجلة جامعة حلب

## م-2- توحيد المدخلات بين النماذج المختلفة:

يمكننا حفظ مدخلات مرجعية تناسب جميع النماذج التي نريد أن نعطيها المدخلات ذاتها وذلك باستخدام برنامج Mechanical الموجود في ANSYS، وبذلك يتم توحيد المدخلات التالية:

مبدأ الإحداثيات، تحديد العظم حول البراغي، سطوح التثبيت (السطوح المفصلية)، سطوح تأثير الحزم العضلية مع قيمها المختلفة (المرتکز والشدة والاتجاه)، ملفات Commands التي تحمل الخواص المادية، التحاليل المطلوبة.

يتم هذا باستخراج البيانات بصيغة (.mechdat) من خلال عملية Export الموجودة في قائمة الملف File Menu.

وبالتالي أصبح بالإمكان استيراد هذا الملف المرجعي عند إنشاء أي مشروع جديد باستخدام عملية Import الموجودة في قائمة الملف File Menu.

وبالتأكيد نقوم بتهيئة المدخلات قبل توصيل نافذة Static Structural مع نافذة FEM وذلك من خلال الضغط على زر إعادة التهيئة Reset الموجود في خيارات النموذج Model.

ثم نقوم بنقل بيانات النموذج من FEM إلى Static Structural (وذلك في حقل النموذج Model) ونتابع الخطوات المعتادة.

وبالتالي تم توحيد هذه المدخلات بين المجسمات المختلفة.

### م-3- مناورات خاصة ببرنامج MIMICS:

طريقة خاصة لفصل الفك السفلي عن المجاورات: نقوم بالتأكد من أن هناك فصل في التحديد في منطقة اللقم والنائي المنقاري عن المجاورات، ثم نبحث عن الشريحة في المستوى الأفقي التي تحوي نقاط التماس الإطباقي بين القوسين السنيتين ويتم حذف كامل البنى السنية في هذه الشريحة باستخدام التعديل اليدوي المفرد Edit on Mask، بعد ذلك نستخدم عملية Regional Growing فنجد أن الفك السفلي قد أصبح معزولاً عن المجاورات وجعل في قناع وحده.

طريقة خاصة لملء الفراغات في المجسم: حيث نلاحظ وجود نقاط ومناطق ضمن الفك لم تحدّد أثناء التحديد العشوائي داخل الفك السفلي (وهي مناطق نقي العظم والعظم الاسفنجي وغيرها)، ويمكن التخلص من هذه المناطق باستخدام وظيفة Fill (وذلك بعد إغلاق الثقوب الخارجية) حيث نختار القناع النهائي ونضغط في أي نقطة خارج القناع (مع تحديد الخيار Multiple Slice) فننتج قناع جديد يحوي كل ما سوى الفك السفلي، ثم نعود للقناع الجديد ونجري عليه نفس العملية ونضغط في أي نقطة داخل الفك فيتشكل لدينا قناع جديد يحوي كامل الفك السفلي دون فراغات داخلية.

### م-4- تعديل الملفات قبل إدخالها إلى برنامج ANSYS:

يقوم برنامج MIMICS بتصدير ملفات (.cdb) تحوي معلومات العقد والعناصر والتقسيم العام للخواص المادية والخواص الحرارية للنموذج ، وملف آخر بلاحقة (.txt) يحوي خواص كل عنصر على حدة.

وبرنامج MIMICS يقوم باستخراج البيانات الخاصة بالنموذج في الملفات التي تحوي مكونات النموذج كحجوم دون إدراج السطوح وتقسيماتها، لذلك اضطر الباحث إلى إدراج السطوح يدوياً، كما أن الخواص الحرارية تسبب مشاكل في العمليات الحسابية اللاحقة.

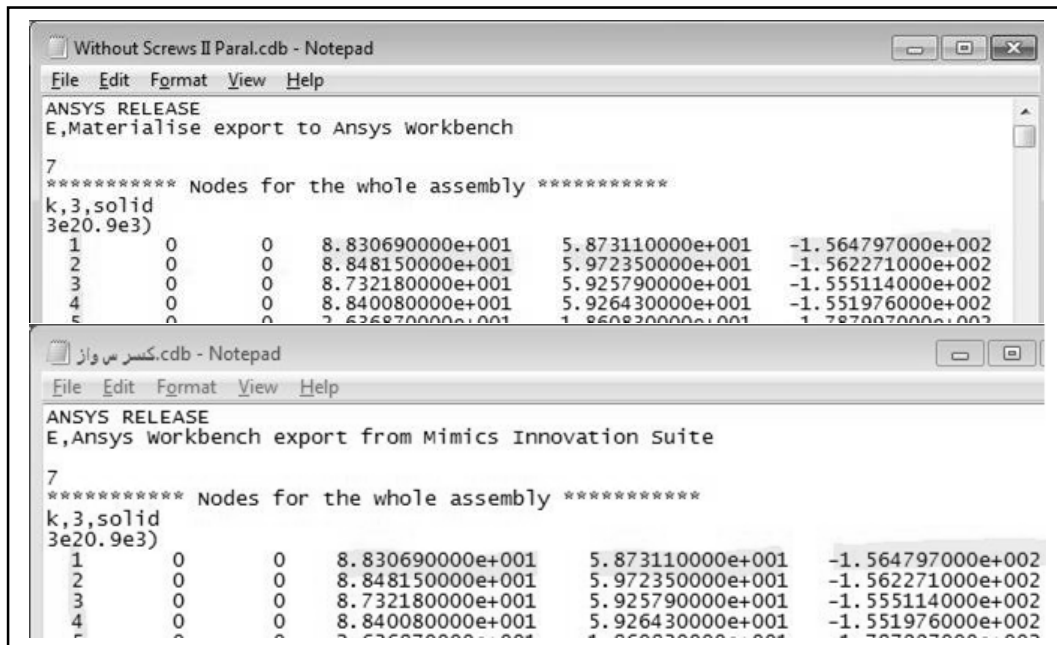
ويتم تعديل الملفات من خلال فتح ملفات النماذج ذات اللاحقة (.cdb) باستخدام برنامج قارئ الملفات النصية Text Document وذلك وفق مرحلتين:

أ- إرفاق السطوح **Surfaces في الملف:** وذلك بالاستفادة من العناصر

Component (السطوح العضلية) التي تمّ تحديدها في برنامج 3 Matic:

حيث تمّ التأكد أولاً من مطابقة التسلسل الرقمي للعناصر في الملفين المستخرجين من 3 Matic و MIMICS (الشكل م-1).

ثم تمّ القيام بنسخ بيانات الملف الأول (المصدر من 3 Matic) الخاصة بالعناصر Component واستبدالها بمقابلتها في الملف الثاني (المصدر من MIMICS) (الشكل م-2).



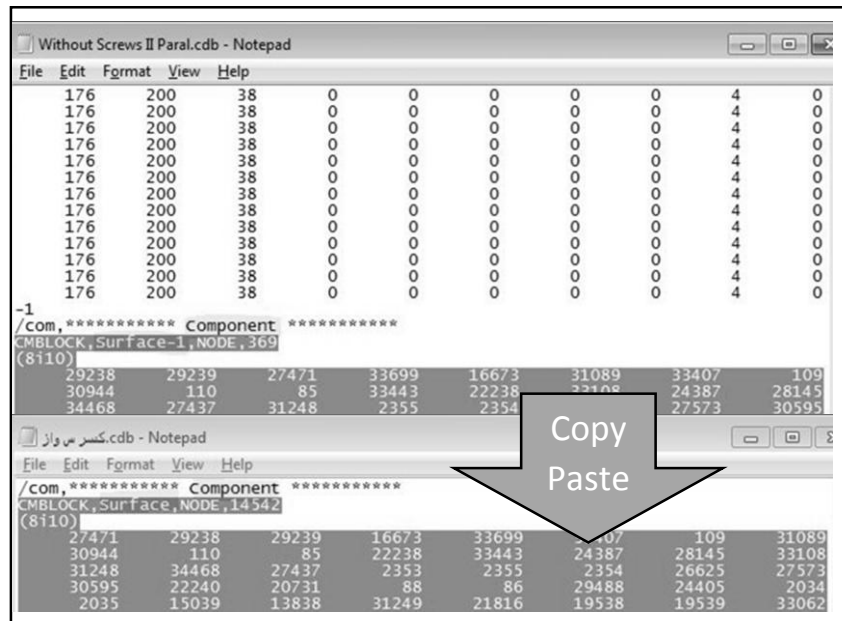
الشكل م-2: التأكد من التسلسل الرقمي المتطابق بين ملفي 3 Matic و mimics

ب-التأكد من تخصيص المواد وتعديل الصيغة: وذلك بتعديل البيانات في الملف الثاني

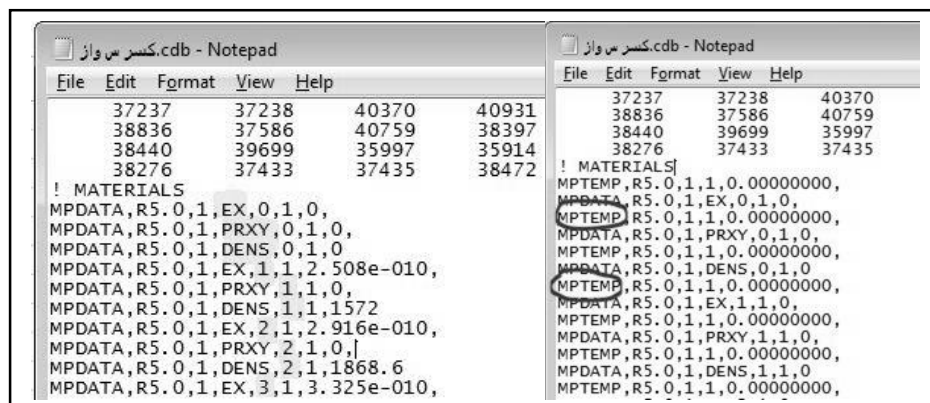
(المصدر من MIMICS) من خلال حذف البيانات الخاصة بالخواص الحرارية

(MPTEMP) لعدم دخولها في هذا البحث، والتأكيد على إعطاء القيم الصحيحة

للخواص المادية (الشكل م-3).

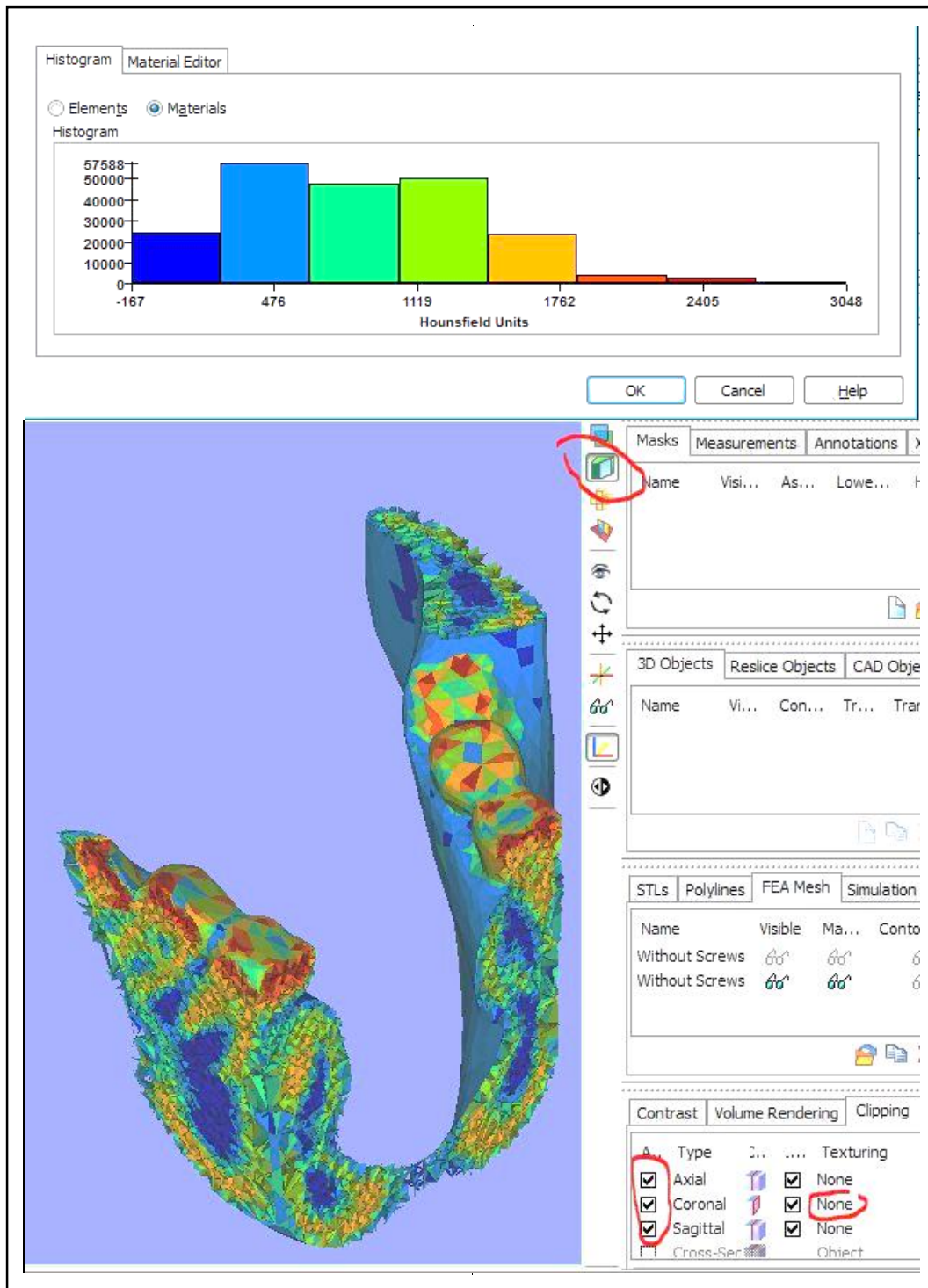


الشكل م-3: إضافة السطوح من ملف Matic 3 (الملف في الأعلى) إلى ملف MIMCS (في الأسفل)

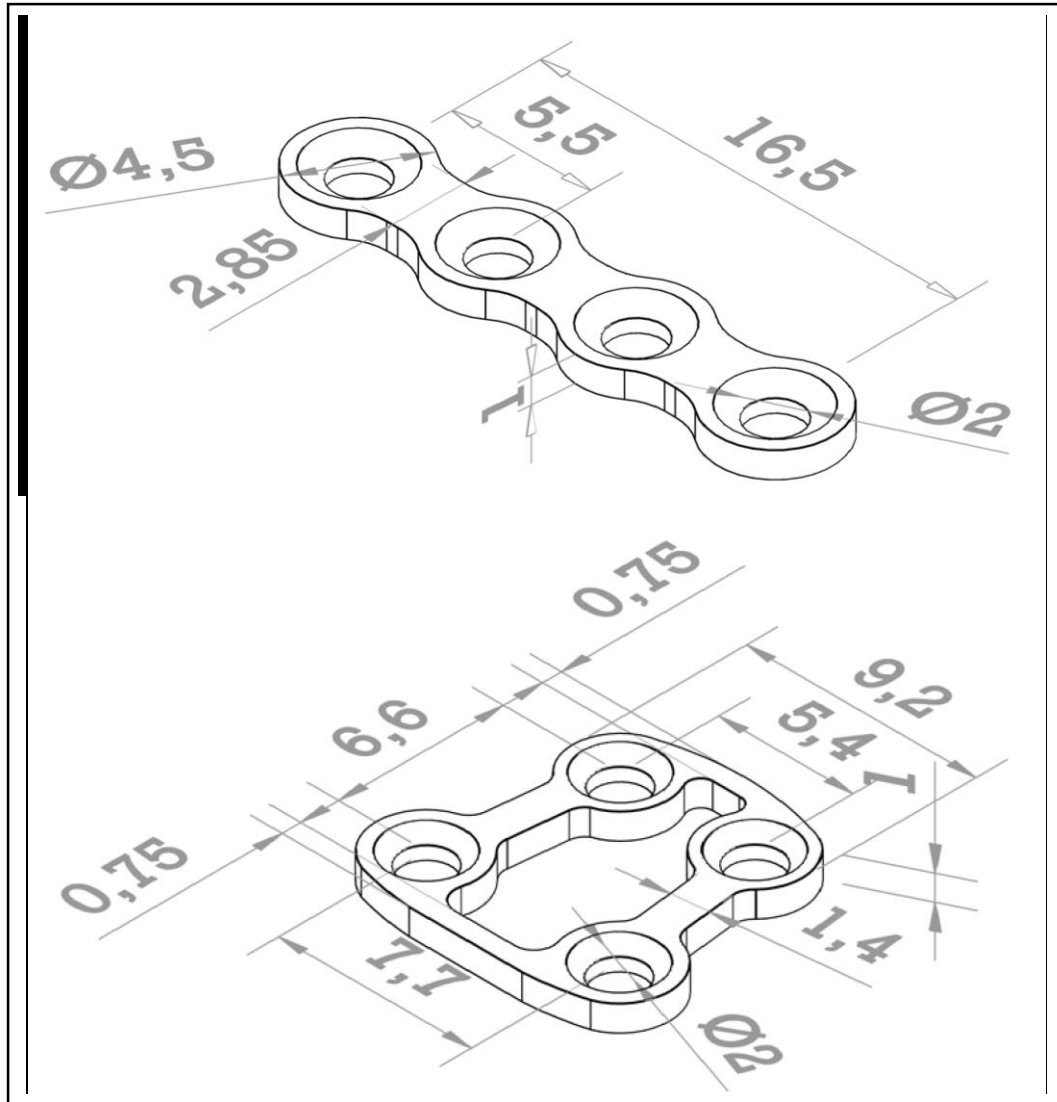


الشكل م-4: تعديل الملف ذي الصيغة (.cdb) باستخدام قارئ الملفات النصية (Text Document)

## م-5- صور:



الشكل م-5: المجموعات الثمانية وكثافتها الشعاعية وتوزعها ضمن النموذج



الشكل م-6: أبعاد وقياسات الصفيحة المستقيمة والصفيحة شبه المنحرفة (نمذجة الباحث)

