من الدوحة إلى العالم:

هندسة مُبتكرة تُعيد صياغة صوت العُود

أ.د. صادق ساسي، أستاذ الهندسة الميكانيكية، قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، كلية الهندسة - جامعة قطر

د. محمد بوروباليو ، أستاذ مشارك، قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية كلية الهندسة - جامعة قطر

محمد عبد اللّه، إلياس دريك، طلاب دراسات عليا، كلية الهندسة - جامعة قطر
أمين ساسي، باحث دراسات عليا، جامعة ماكماستر - كندا

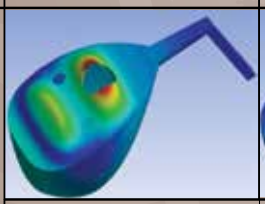
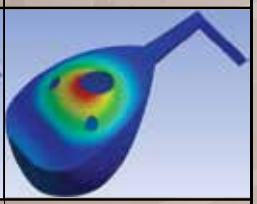
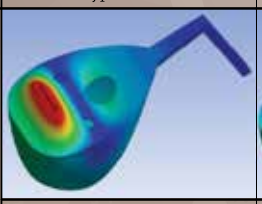
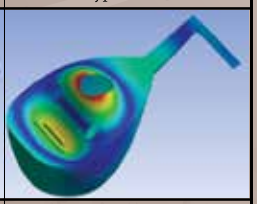
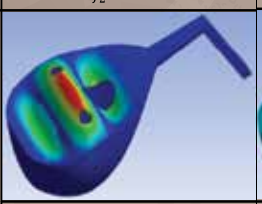
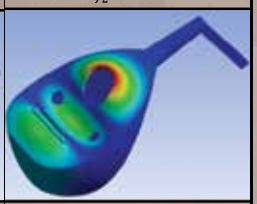
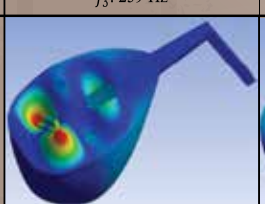
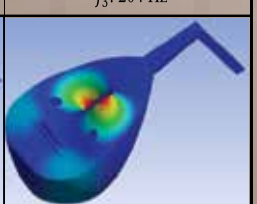
العُود، أحد أكثر الآلات الموسيقية شهرة في العالم العربي، يُجسد قرونًا من التعبير الثقافي والإبداع الفني. يتميز العُود بأصواته العميقة والرَنَّانة، فهو ليس مجرد آلة موسيقية، بل رمز للتراث والهُويَّة. ومع ذلك، شأنه شأن جميع الآلات التقليدية، يواجه تحديات تقنية مستمرة. فالموازنة بين المتانة الهيكلية وجودة النغمة الغنية لطالما كانت مهمة دقيقة، تُعهد تقليديًا إلى خبرة صانعي العُود المهرة. في جامعة قطر، سعينا إلى استكشاف كيف يمكن توظيف أساليب الهندسة الحديثة لتحسين الخصائص الصوتية للعود مع الحفاظ على أصالته.

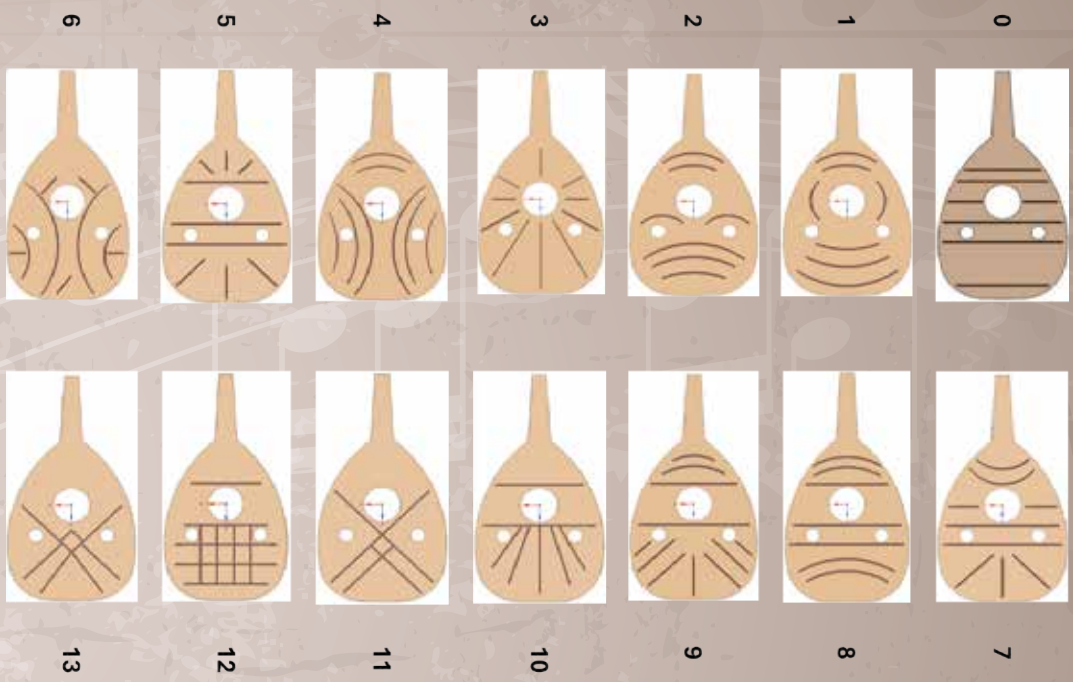
يتكون هيكل العُود من عدة مكونات رئيسية، لكل منها دور أساسي في الأداء العام للآلة. ومن أبرز هذه المكونات نظام التدعيم الداخلي (Bracing)، المكوَّن من دعامات خشبية تُلصق أسفل لوحة الصوت لتوزيع الشد الناتج عن الأوتار ومنع التشوه أو الالتواء أو التصدع الناتج عن قوتها. يضمن التصميم المدروس لمواضع هذه الدعامات ثبات الضبط، والمتانة، والخصائص الاهتزازية المثلى، مما يُسهم في تحسين الأداء الصوتي والعمر الافتراضي للآلة. يُشكِّل نظام التدعيم محور هذا البحث، إذ إن تصميمه ظَل يعتمد عبر التاريخ على الحرفة اليدوية والحَدس دون تقييم علمي منهجي. جاءت دراستنا لتسد هذه الفجوة من خلال الجمع بين المحاكاة العددية بطريقة العناصر المحددة والتحليل الاهتزازي التجريبي لتقييم أربع عشرة تشكيلة مختلفة من أنظمة التدعيم.

لتحليل السلوك الاهتزازي الصوتي للعود، أُجري تحليل عددي باستخدام طريقة العناصر المحددة (FEM) ضمن بيئة برنامج ANSYS. تم بناء نموذج ثلاثي الأبعاد تفصيلي للعود باستخدام برنامج SolidWorks ثم استيراده إلى ANSYS، حيث أُسنِدت إليه الخصائص المتعامدة لخشب التنوب (Sitka Spruce) لتمثيل مادة لوحة الصوت بدقة. وكما هو موضح في الجدول (1)، نُفِّذت عمليات المحاكاة الاهتزازية لتحديد الترددات الطبيعية وأشكال الأنماط الاهتزازية المصاحبة للآلة تحت شروط تقييد واقعية. ركزت المحاكاة على الأنماط الاهتزازية الأولى التي تلعب الدور الأكبر في تحديد توازن النغمة وإسقاط الصوت. وقد قدمت نتائج التحليل العددي فهمًا كميًا حول كيفية تأثير التدعيم الداخلي على الصلابة الاهتزازية وتوزيع الأنماط وكفاءة إشعاع الصوت.

يُشكِّل نظام التدعيم الخشبي أسفل لوحة الصوت جوهر هذا البحث، إذ لا يقتصر دوره على منع انهيار الهيكل تحت شد الأوتار، بل يتحكم بشكلٍ حاسم في تشكيل الطابع الصوتي للعُود. ورغم أن تصميم التدعيم كان تاريخيًا يعتمد على الخبرة والحَدس، إلا أن تقييمه العلمي ظل محدودًا. وقد سدّت دراستنا هذه الفجوة من خلال الدمج بين المحاكاة العددية والتحليل الاهتزازي التجريبي لتقييم أربع عشرة حالة مختلفة من أنظمة التدعيم، كما هو موضح في الشكل (1).

الجدول (1): التحليل العددي النمطي والمقارنة مع النتائج التجريبية.

Experimental	Simulation	
	With bracing (Reference Oud)	Without bracing
Mode 1 f_1 : 142 Hz	 f_1: 140 Hz	 f_1: 117 Hz
Mode 2 f_2 : 226 Hz	 f_2: 210 Hz	 f_2: 182 Hz
Mode 3 f_3 : 242 Hz	 f_3: 239 Hz	 f_3: 204 Hz
Mode 4 f_4 : 280 Hz	 f_4: 303 Hz	 f_4: 275 Hz



الشكل (1) : أربعة عشر نموذجًا مختلفًا من أنظمة تدعيم العُود.

تم تقييم كل نموذج وفق ستة مؤشرات أداء محددة بعناية شملت الجوانب الهيكلية والصوتية، مثل صفاء النغمة، وتوازن الاهتزاز، وتوزيع الإجهادات، والإسقاط الصوتي. أظهرت النتائج أن التدعيم ليس مجرد عنصر هيكلي، بل عامل أساسي في تحسين جودة الصوت. فالتصميم الجيد للدعامات يمكن أن يُحسِّن صفاء النغمة، ويعزز الإسقاط الصوتي، ويطيل عمر الآلة. ومن بين النماذج الأربعة عشر التي خضعت للاختبار، تميز النموذجان السادس والحادي عشر بأداء عالٍ ومتوازن، إذ قدما أفضل مزيج بين الصلابة والرنين، مما يجعلهما مرشحين مثاليين للعود الاحترافي. كما أظهرت بعض النماذج المتوسطة مثل (3، 4، 8، 9، 10، و13) نتائج إيجابية عند تقييمها بمعايير أداء أكثر مرونة، خاصة في البيئات التي تتطلب إسقاطًا قويًا للصوت مثل قاعات الحفلات. في المقابل، أظهرت أنظمة التدعيم التقليدية أو غير المتوازنة أداءً ضعيفًا، مما أبرز حدود الأساليب التقليدية عند مقارنتها بالمعايير العلمية الدقيقة.

تتجاوز أهمية هذه الدراسة حدود النتائج التقنية، إذ تمتد إلى البُعد الثقافي والاجتماعي. فمن خلال توظيف أدوات الهندسة الحديثة في حرفة تقليدية، تساهم هذه الدراسة في الحفاظ على رمز ثقافي مُتجذِّر في العالم العربي وتطويره في الوقت نفسه. وتُظهر كيف يمكن للعلم الحديث أن يدعم استمرارية التُراث، ليضمن أن يظل العُود حيًا ومتجددًا في سياقات الأداء المعاصرة. ويتماشى ذلك مع استراتيجية البحث العلمي بجامعة قطر (2025-2030) تحت محور "المجتمع"، من خلال تعزيز الهوية الوطنية وتشجيع الابتكار في مجالات الفنون وصون التراث الثقافي.

وباختصار، تؤكد هذه الدراسة أن العُود ليس مجرد إرث ثقافي، بل نظام ديناميكي يمكن أن يستفيد من الرؤى الهندسية الحديثة. ومن خلال الدمج بين الحرفية التقليدية والعلم، نفتح آفاقًا جديدة لتحسين صوته ومتانته واستمراريته الثقافية، بما يضمن أن تظل هذه الآلة العريقة مصدر إلهام للأجيال القادمة.