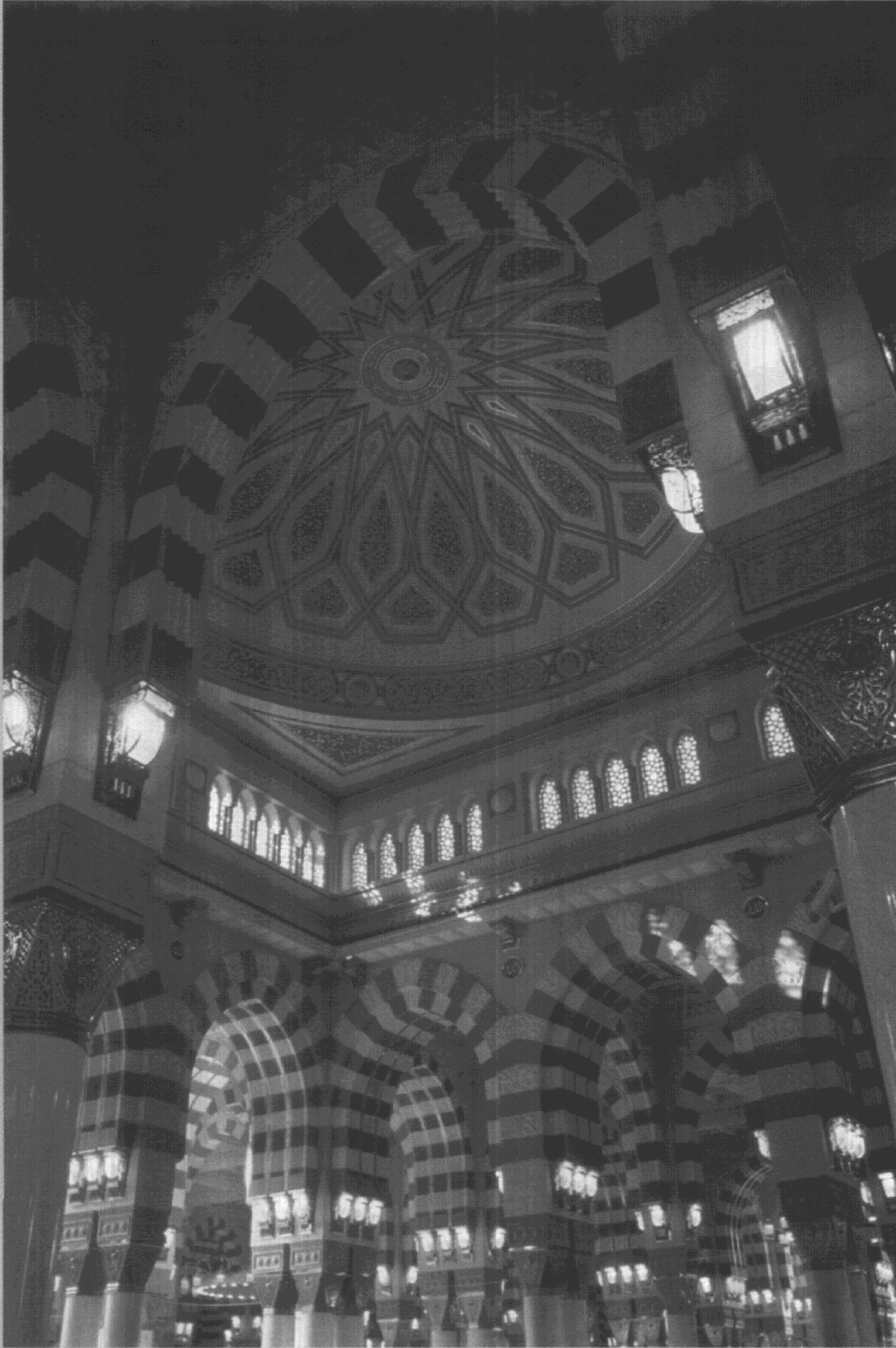




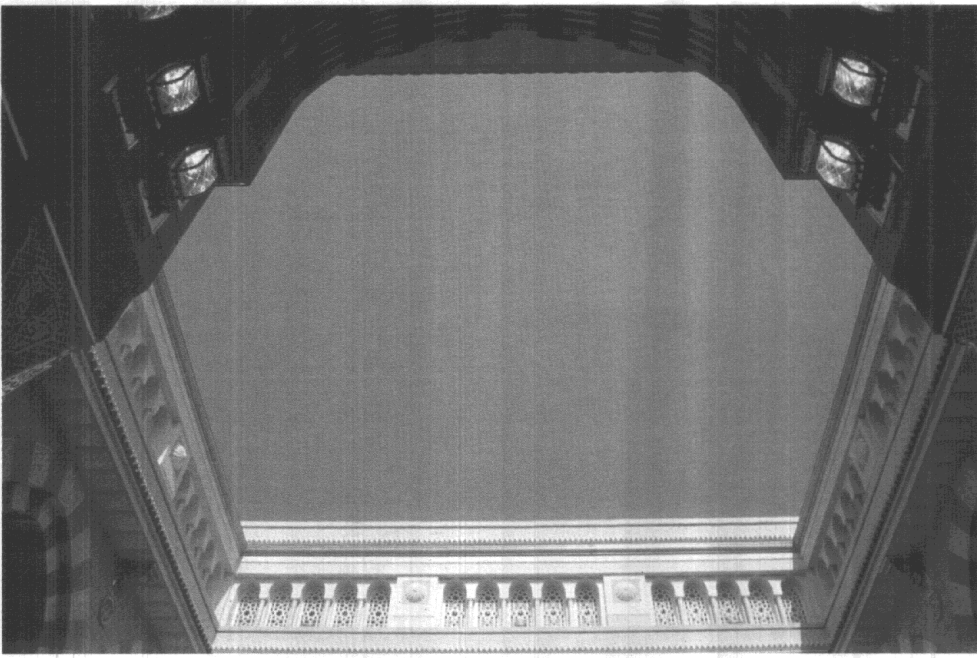
تناسق زخارف القبة مع الزخارف العامة لباقي عناصر المسجد.

يعد مشروعي التوسعة للمسجد الحرام بمكة المكرمة والمسجد النبوي الشريف بالمدينة المنورة من أهم إنجازات الملك فهد بن عبد العزيز لخدمة الزيادة المضطردة والهائلة في أعداد حجاج بيت الله الحرام ومسجد النبي (صلى الله عليه وسلم). ويعرض هذا المثال لدراسة توسعة الملك فهد بن عبد العزيز بالمسجد النبوي الشريف لإعتباره ثاني المقدسات الإسلامية بعد الكعبة المشرفة وكذلك للأساليب والتقنيات الحديثة التي استخدمت في تلك التوسعة بهدف رفع كفاءة المبنى ولراحة حجاج وزوار المسجد النبوي. وقد فاز المشروع بجائزة أفضل إبداع تقني من الهيئة الدولية لتكنولوجيا البناء ببيوستن بالولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٩٣.

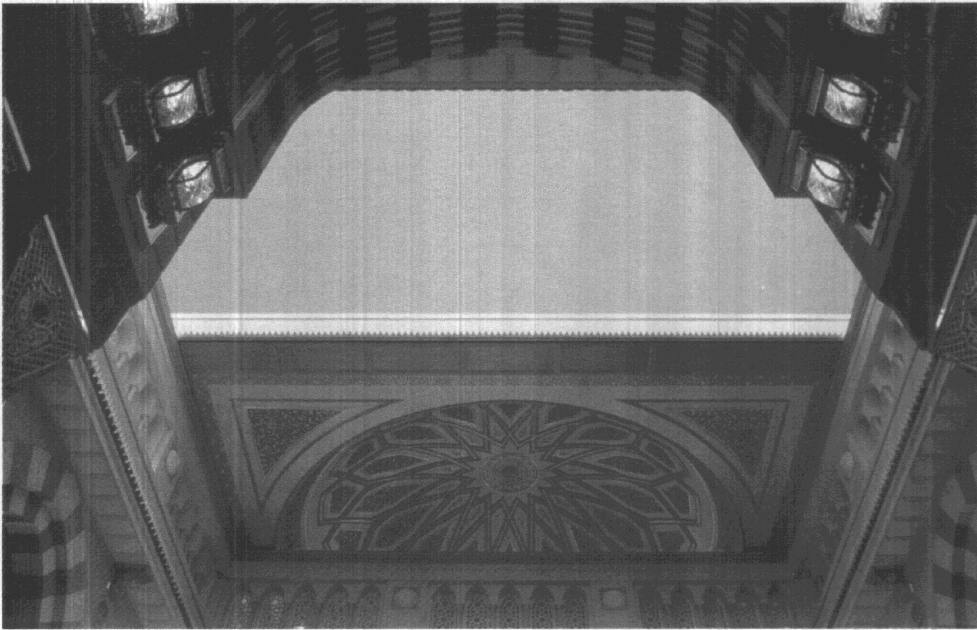
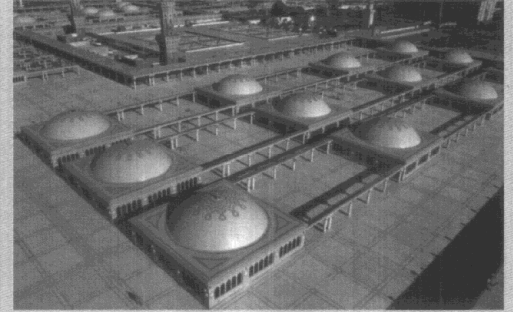
شملت التوسعة الإمتداد من ثلاثة إتجاهات من الأضلاع الأربعة الأصلية للمسجد النبوي مع الحفاظ على حائط القبلة (الضلع الرابع). وتشغل التوسعة في صورتها النهائية مسطحاً إجمالياً حوالى ٤٥٠ متراً طوياً و ٢٥٠ متراً عرضاً يتخلل هذا المسطح المغطى سبعة وعشرين فناءً داخلياً مسطح كل منها ١٨ متر × ١٨ متر وذلك للسماح بدخول أشعة الشمس والضوء والتهوية الطبيعية كعوامل مساعدة للوسائل والتقنيات الأخرى الحديثة للحصول على التكييف والتهوية الداخلية للمبنى تبعاً لحالة الجو ودرجات الحرارة الخارجية. فيخدم المسجد النبوي الشريف مجمع تكييف ضخم يقع على بعد ٧ كم على أطراف المدينة المنورة ويتصل بالمسجد عن طريق أنفاق للخدمة ويضخ الهواء المبرد من جريليات تقع بقاعدة الأعمدة الحاملة. أما التقنيات الحديثة في الأساليب الإنشائية لتغطية تلك الساحات فتمت من خلال قباب منزلقة ومظلات متحركة للتحكم في درجات الحرارة داخل هذه الساحات. هذا بخلاف تقنيات أخرى حديثة كأساليب الإضاءة بالساحات الخارجية كما سيعرض في هذا المقال.

القباب المنزلقة

تعتبر القباب المنزلقة من أهم ملامح وسمات مشروع توسعة الملك فهد بن عبد العزيز للمسجد النبوي الشريف لحماية الأفنية والساحات الداخلية من أشعة الشمس الحارقة صيفاً وبرودة الليل شتاءً. حيث يمكن تغطية كل فناء بقبة منزلقة تتحرك على قضبان بسطح المسجد مجاورة لكل مساحة داخلية فيغطي الفناء نهاراً ويفتح ليلاً. أثناء الليل تنزلق القباب لأماكنها الثابتة فوق سطح المسجد ليكون الفناء وسيلة سحب للهواء الساخن من جنبات المسجد الى السماء مما يعمل على تبريد المناخ الداخلي لفراغ المسجد النبوي. أما في الشتاء فتعكس أوقات تغطية وفتح الأفنية



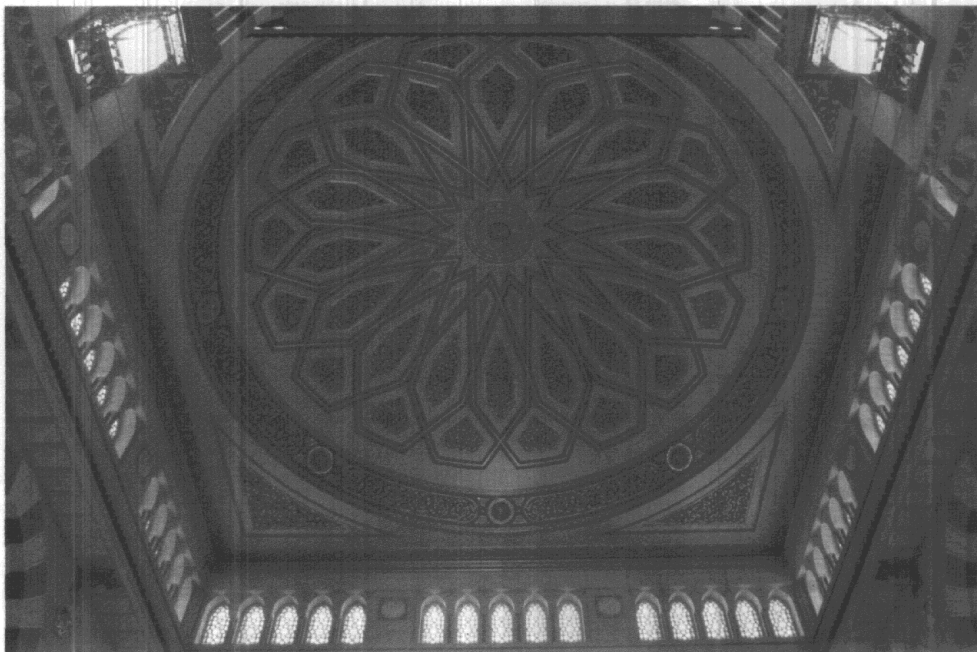
مجموعة قباب منزلة من أعلى.



والساحات الداخلية فتفتح نهاراً لإمتصاص أشعة الشمس وتغلق مساءً حتى لا تتسرب الحرارة المكتسبة خلال النهار. وقد قامت شركة SL الألمانية بتصميم وتنفيذ وتركيب القباب المنزلة في الفترة من ١٩٩٠ حتى ١٩٩٢.

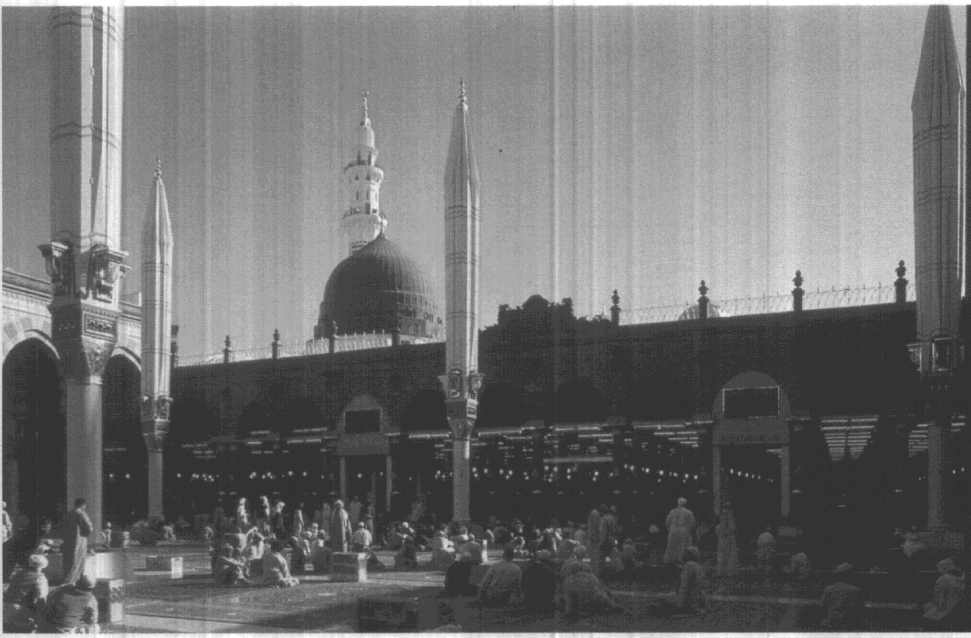
وتتكون القباب المنزلة من هياكل معدنية مماثلة لتلك المستخدمة بالمنشآت التقليدية والحديثة. وهي مثبتة على أربعة عربات ذات إطارات متحركة كل منها يتمتع بآلية الحركة الذاتية المباشرة. تعمل عن طريق محركات كهربائية تتحكم في بدء وإيقاف التشغيل. ويتم التحكم في تشغيل القباب المنزلة من خلال مركز التحكم الرئيسي بالمسجد.

وقد إستخدمت وحدات زخرفية لتكسية القبة من الداخل والخارج تم تصنيعها بالكامل في ألمانيا. كما أنه روعي التكامل بين مواد تشطيب القباب وتشطيب جدران وبواكي الساحات الداخلية المكشوفة. فتجد أن الحافة الخارجية للقبة قد ثبت بها إفريز من الحجر الصناعي يتداخل مع المقرنص والكورنيش الذي يعلو البواكي المحيطة بالساحة. وكسيت الأسطح الخارجية بطبقة من الذهب على البرونز إلى جانب ألواح مزدوجة من ألياف الكربون والزجاج مع الإيوكسي المغطى ببلاطات السيراميك. كما استخدمت بلاطات القراميد بأشكال والوان مختلفة للحصول على نماذج لوحدات زخرفية مميزة.



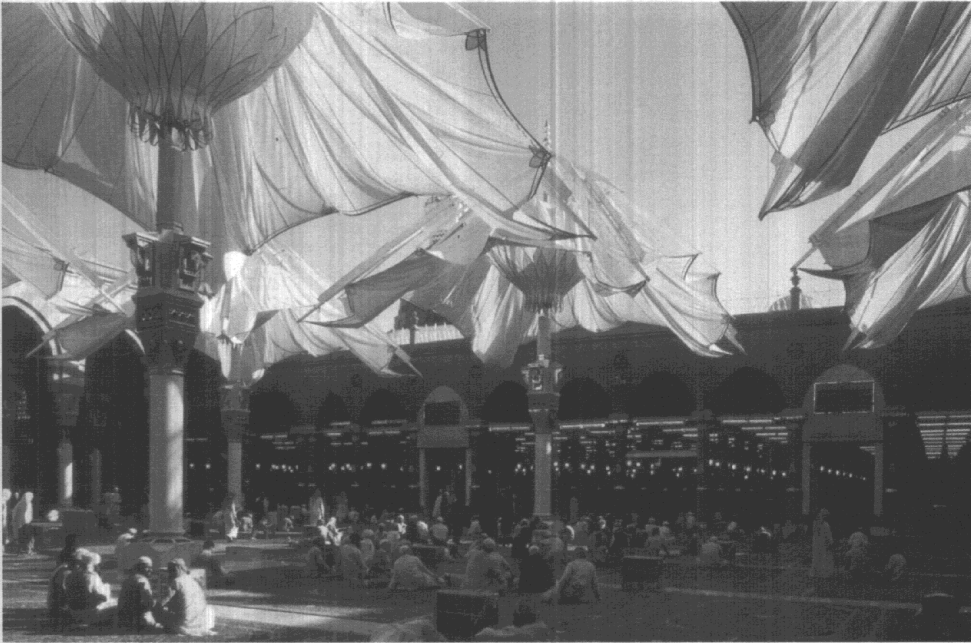
أما بالنسبة للكسوات الداخلية فهي من الخشب المقوى بالإيوكسي والمغطى بقشرة زخرفية. ويتكون سطح الكسوات من وحدات زخرفية وهندسية منتظمة الشكل تفصلها دعائم خشبية مشعة من مركز القبة الى القاعدة بالإضافة لدعامات أخرى تحيط بقاعدة القبة الدائرية وأركانها الأربعة. وصنعت هذه الدعائم من خشب الأرز المحلى بخطوط ذهبية لامعة بالتبادل مع خطوط أخرى ملونة باللون الفيروزي. وبصفة عامة فإن تصميم وحدات زخارف القباب تحلت بروح الفنون التراثية بالمغرب وبتكنولوجيا الصناعة والإنتاج المتطورة بألمانيا.

القبة في مراحل مختلفة أثناء الإغلاق.



المظلات المتحركة

من أكبر التحديات التي واجهت فريق العمل سواء من المماريين أو التخصصات التكنيكية الأخرى هي كيفية تغطية الساحتين الداخليتين بالمسجد النبوي الشريف بطريقة تسمح بفتحها للسماء أو تغطيتها بأسطح قابلة للطي والتجميع، مع المحافظة على قدسية المكان وشخصية الفضاء الداخلي والطابع البيئي المحلي، خاصة وأن هناك عشرات الألوف من المصلين والزائرين لهذا المكان المقدس.



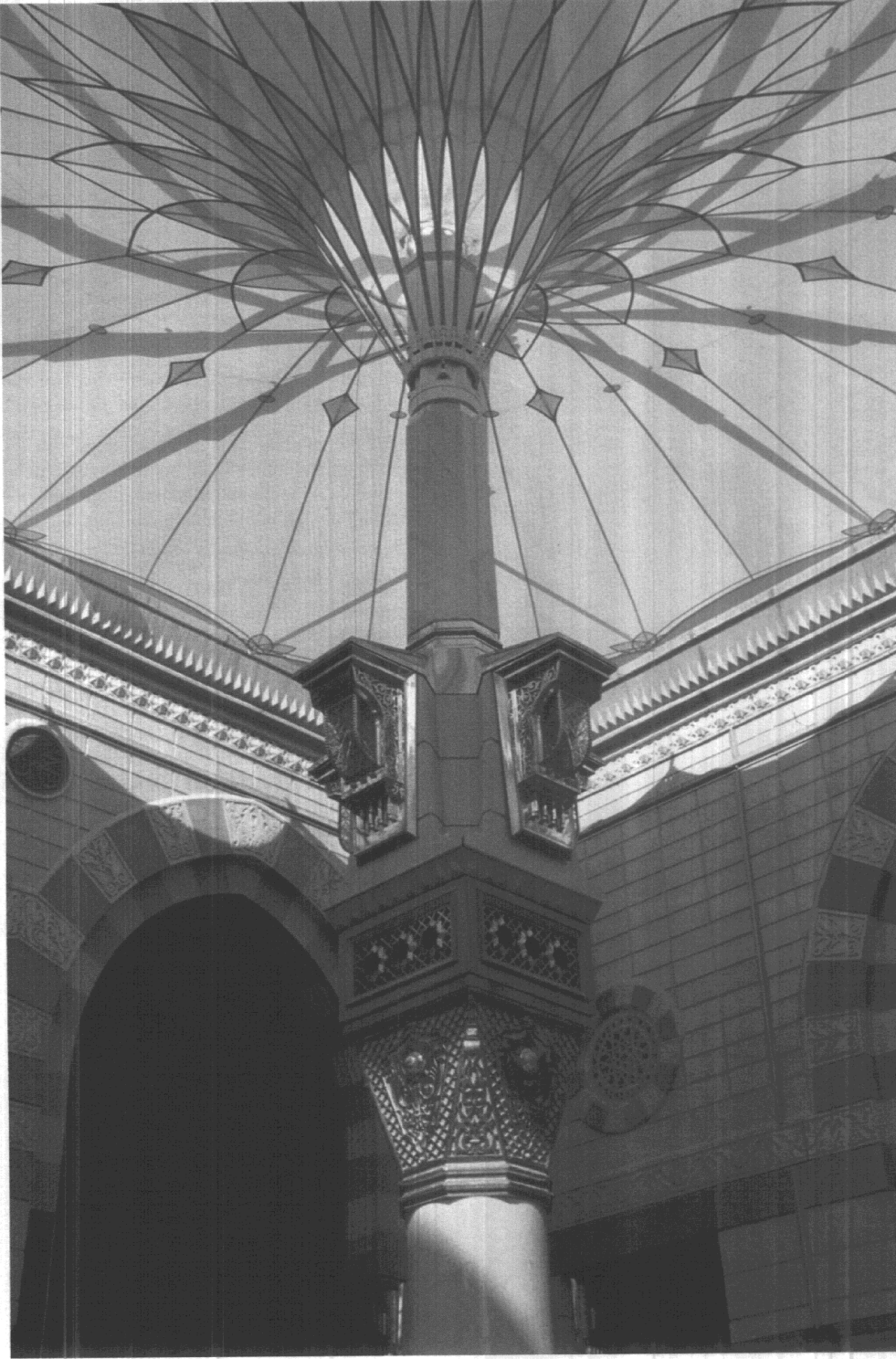
وقد توصل فريق العمل إلى تصميم مظلات قابلة للطي والتجميع يصل المسطح الذي تغطيه المظلة الواحدة عند فتحها حوالي ١٧×١٨ متراً وبارتفاع ١٤ متراً لتتكاثر بذلك مع نسبة وحجم فراغ الفضاء. وتعد هذه المظلات بطولها القطري الذي يبلغ ٢٤ متراً أكبر المظلات من نوعها التي نفذت عالمياً.

يوجد بكل ساحة من الساحتين الرئيسيتين ستة مظلات، ليكونوا فيما بينهم عند فتحهم خطوطاً فراغية مشابهة للقنوات وتتصل فيما بينها المظلات وبين البواكي المحيطة بالساحة لتعطى في النهاية إحساساً باتساع الساحة وجمالها. وتتسم هذه المظلات بشكلها التراثي الأصيل كما أن أسطحها مصممة بعناية لتتمشى مع روح العمارة العربية التقليدية. فبالرغم من اختلافها في الشخصية إلا أنها تتكامل مع الطابع المعماري للمسجد النبوي في إنسجام واضح. ويظهر هذا التفاعل والتكامل بشدة عند فتح المظلات من الوضع الرأسي المغلق لتتخذ شكل الزهرة وتغطي الساحة بالكامل.



روعى في تصميم المظلات أساليب التحكم المناخي والبيئي من خلال مراعاة التغيرات الموسمية التي يتسم بها جو المدينة لضمان التحكم في المناخ الداخلي للمسجد النبوي الشريف مع أقل إستهلاك للطاقة. ففي نهار الصيف توفر المظلات عند فتحها التظليل الكامل كما تعكس أشعة الشمس من خلال مادة التيفلون التي تغطي سطحها. أما في الليل فتطوى المظلات لتصبح الساحات مكشوفة وبالتالي تسحب الحرارة الداخلية المكتسبة نهاراً لأعلى.

أما في الشتاء فتكون درجات الحرارة منخفضة نسبياً فيتم عكس أوقات فتح وغلق المظلات فتفتح ليلاً لتغطي الساحة وتحمي الفراغ الداخلي من برودة الطقس الخارجي وتطوى نهاراً للتمتع بشمس الشتاء الدافئة وللحصول على حرارة مناسبة داخل الحرم النبوي. ويتم فتح المظلات يومياً وموسمياً باستخدام الحاسب الآلي وفقاً لبرنامج يعتمد على



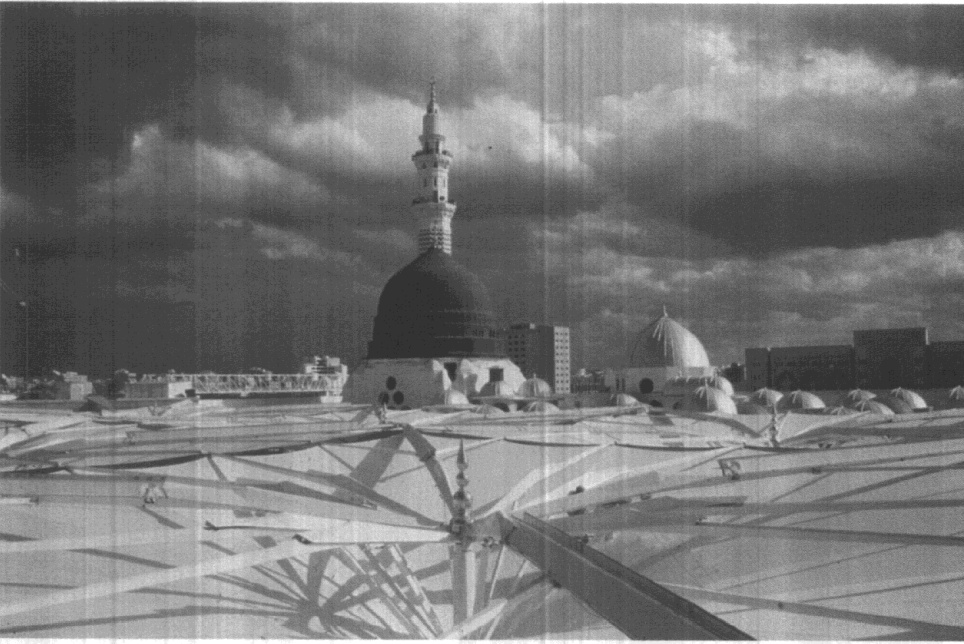
عمود إضاءة يحمل مظلة متحركة أيضا.

وضع الشمس والموسم والمؤثرات الحرارية الخارجية مثل الرياح والسحب. ومن خلال هذه القياسات يتم التحكم أوتوماتيكياً والكثرونياً في المظلات. كما يرتبط تشغيل المظلات بأجهزة التكييف وعملها داخل الحرم للتحكم الحراري داخل ساحة الحرم خاصة وأن درجات الحرارة قد تصل الى حوالى ٤٥ درجة بالظل. وتوجد فتحات مخارج التكييف فى أسفل ووسط الأعمدة الحاملة للمظلات وروعى فى تصميم فتحات هواء التكييف إمكانية قذف الهواء وتشتيته مع عدم إحداث ضوضاء أثناء التشغيل.

وتستخدم الأعمدة الحاملة للمظلات فى وظيفة أخرى بجانب الناحية الإنشائية ومخارج التكييف فهي تستخدم أيضاً لصرف مياه الأمطار فيتم تجميع المياه عبر قنوات فى المظلة لتصل لنصفها ثم تخترق الأعمدة الى شبكات الصرف الخارجية. كما أن الأعمدة أستغلت كوسائل للإضاءة عن طريق تثبيت أربعة مصابيح فى كل عمود حامل للمظلة.

تتكون أجزاء المظلة الإنشائية من شدادات وأذرع وقوائم كلها ملتحمة مع بعضها البعض ومعلقة من قائم حديدى مرتفع. وتم تصميم كل جزء حامل إنشائياً على حدة تبعاً لتحليل مسار القوى به. وتم تصنيع هذه الأجزاء عن طريق أجهزة الحاسب الآلى للتحكم بدقتها وللتأكد من صلابة الإنشاء. كما تم إجراء اختبارات نفق الرياح لتمثيل العوامل المختلفة المؤثرة بالساحة ولتحديد تفاعل ورد فعل مكونات وعناصر المظلة مع هذه المؤثرات. حيث صممت المظلة على أساس مقاومة سرعة رياح تصل الى ١٥٥ كم/ساعة فى حالتى فتح وطفى المظلة. كما توجد شاشة واقية لتحديد سرعة الرياح مرتبطة بوحدة التحكم الآلى التى توقف تلقائياً عمل المظلة إذا ما زادت الرياح عن ٥٦ كم/ساعة. وتم وضع المضخات الهيدروليكية والمحركات الكهربائية بمحطة رئيسية منفصلة عن المسجد للمحافظة على جو الهدوء والخشوع المطلوب بداخله.

تفتح وتطوى المظلات بواسطة أسطوانة هيدروليكية توجد بالمركز الذى يشع من جميع الشدادات والأذرع. ويوجد بداخل الأسطوانة مضخة الزيت اللازم لحركتها. ويتم التحكم أوتوماتيكياً والكثرونياً فى فتح وطفى المظلة من داخل مبنى المسجد من خلال قنوات إتصال تمر أسفل ساحة المسجد. وترتبط المحركات الكهربائية والمضخات ومفاتيح التحكم بعضها البعض بأسلوب يضمن إستمرارية عمل المظلات حتى فى حالة تلف أى من مكوناتها. وروعى فى تصميم المظلات حمايتها عند طيها بالوضع



الرأسي حيث توجد دعامات قوية مصنعة من ألياف الكربون الخفيفة متصلة بأذرع المظلة القطرية والتي تفتح آلياً بمحاور وقضبان معدنية مختفية داخل الأذرع، وتشكل مع الكسوة المعدنية الخارجية أسلوب حماية قوى.

استخدمت مادة التيفلون البيضاء فى صناعة الكسوة الخارجية، بالإضافة الى دعامات تقوية فى الأركان والأقطار. ويزخرف المظلة من أسفلها وعند تقائها مع العمود نسيج زخرفى باللون الأزرق السماوى. ويعد هذا الغطاء الخارجى مضاد للأشعة فوق البنفسجية والحريق والمواد الكيميائية كما تعد مادة التيفلون ذات عمر افتراضى طويل وهى أنسب مادة يمكن إستخدامها فى تنفيذ الأسطح القابلة للطلى والتجميع. وقد تم الحصول على هذه النتائج من خلال التجارب العديدة التى تخللت عمليتى التصميم والتصنيع لهذا المشروع المتميز.

إضاءة الساحة الخارجية للمسجد

يحضر الى المسجد النبوى الشريف عشرات الألوف من المصلين والزائرين حتى يمتلئ عن آخره ويضطر عدد كبير منهم للصلاة فى الساحة الخارجية والتى يصل مسطحها إلى حوالى ٢٠٠٠٠ متر مربعاً مما دعت الحاجة إلى تظليل هذه الساحات الخارجية لحمايتها من الشمس وبالتالي توفير أماكن إضافية للمصلين. بالإضافة الى ذلك يجب تزويدها بأساليب إضاءة متطورة. وقد قام مكتب بودوراش بتصميم مظلات قابلة للطلى والتجميع بمسطح حوالى ٢٢×٢٢ متر بها مصابيح ثابتة مماثلة لمظلات الساحات الداخلية. وقد أعيد تصميم الجزء السفلى من هذه المظلات بواسطة الدكتور/كمال أسماعيل، المعماري الرئيسى لمشروع توسعة المسجد النبوى الشريف، حتى يكون هناك تكاملاً وتجانساً مع مظلات الأعمدة الداخلية.

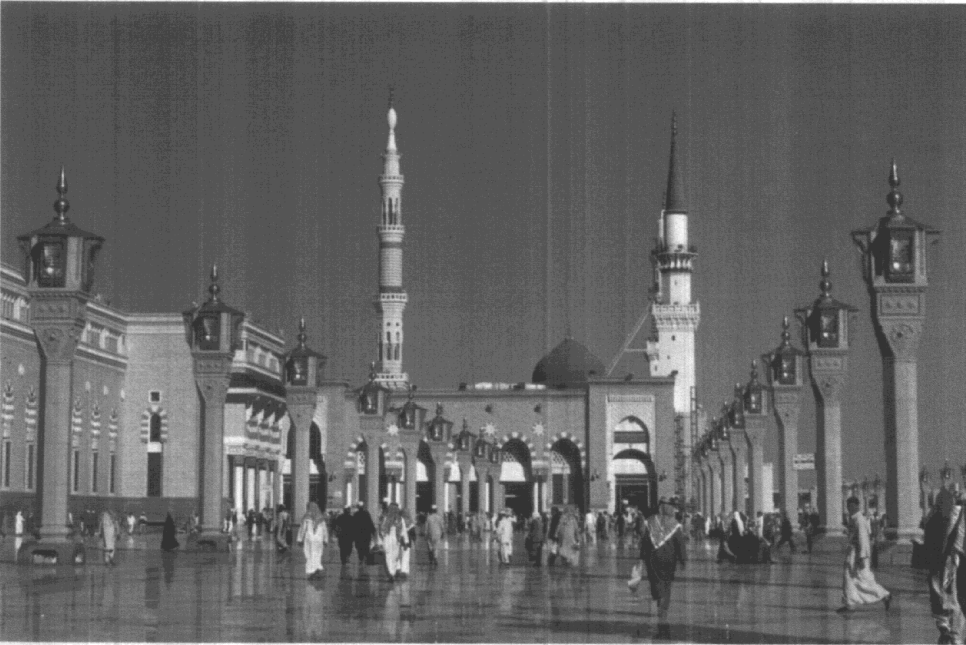
وتعتبر إضاءة ساحة بهذا الحجم الكبير عملية معقدة تتطلب نظام ضوئى متكامل. تبلغ شدته حوالى ٢٠٠ لكس. وباستخدام الشبكة الموديولية لتوزيع وحدات الإضاءة بالأماكن المناسبة لها يمكن تقليل عددها كذلك فإن واجهة المسجد تتطلب أسلوب إضاءة بزواوية ميل مناسبة وكثافة ضوئية عالية تركز على نهايات المبنى لإبراز تفاصيله وفى نفس الوقت مراعاة عدم وجود وهج شديد.

وبناء على ذلك تم استخدام أربعة أنظمة إضاءة حديثة بالتعاون مع كريستيان بارتنباخ وهى :

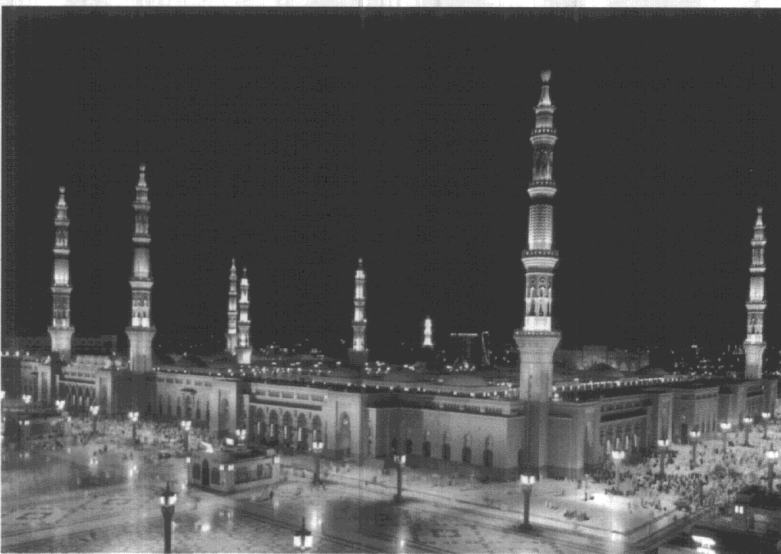
١. إضاءة الساحة بمصابيح مثبتة داخل المظلات
٢. إضاءة الساحة بنظام الأسطح العاكسة مثبتة بالأجزاء المرتفعة فوق مداخل ساحات انتظار السيارات.

٣. توفير نظام إضاءة منخفض من خلال مصابيح زخرفية مثبتة بجوانب الأماكن المرتفعة.
٤. توفير نظام إضاءة كثيف على الواجهات من خلال مصابيح مثبتة بالمظلات.

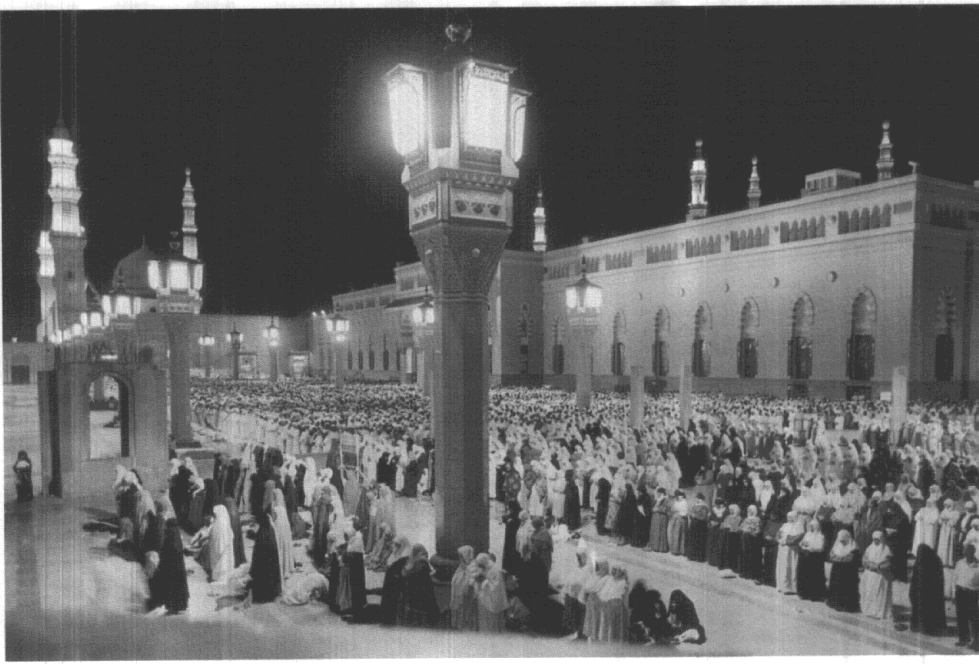
ويعد نظام الإضاءة باستخدام الأسطح العاكسة المتعددة الأوجه أكثر الأنظمة الأربعة السابقة فعالية وكفاءة. فالسطح الألومنيوم يعد هو العاكس



أعمدة الإضاءة تستخدم كعنصر معمارى محدد للساحة الخارجية.



الإضاءة للساحة الخارجية للحرم النبوى.



إضاءة الساحة الخارجية للحرم النبوي.

Technological Advances in the Extension of the Prophet's Holy Mosque in Madinah

Sliding Domes

A covered extension measuring 450 by 250 meters to the existing mosque incorporates some of the latest technological solutions to some environmental problems. To light and ventilate this area, 27 open courts are distributed within. Each court is covered by a sliding steel dome which rolls on rails from a park position over the roof. The whole system is controlled by the 'Building Automation and Control System' of the mosque to ensure environmental control during summer and winter. The steel framework is clad inside and outside by ornate panels, prefabricated in Germany. The outer cladding panels are a sandwich construction of carbon/glass fibre and epoxy laminate with ceramic tiles.

Retractable Umbrellas

For the two large inner courtyards 17x18 meter convertible umbrellas with a height of 14 meters were developed to provide shading without destroying the character of the open courtyards. The six umbrellas in each court, with their cone-shaped membranes, create the effect of a translucent vault spanning between the columns and arcades which surround the court and thus make for a clear, expansive space. The umbrella is opened and closed by a hydraulic pump, and the funnel-shaped membrane was manufactured from a white PTFE (teflon) fabric. The material is resistant to UV radiation, chemicals and fire, and has minimal surface friction giving it an extremely long life-span.

Lighting Structures

Lighting the huge square outside the mosque together with the elevations of the mosque was a most complex task that was given to Bodo Rasch's office. Traditional lighting systems were totally unsatisfactory, thus completely new lighting systems were developed. "Spot decomposition" using faceted mirror systems was the most effective method. It depends on an aluminium primary reflector unit which directs the light from a spot light source on to a secondary reflector, which is subdivided into several free-form surfaces and illuminates a defined surrounding area. Digitally controlled milling machines mill the free-form areas into an aluminium tool, then an epoxy-carbon-fibre compound is cast from the mould and hardened by the heating in a vacuum. The finished carbon-fire laminate is then lacquered, vapour-plated with aluminium and the surface hardened.

Chief architect for the Mosque:

Dr. Kamal Ismail, Cairo, Egypt

Main Contractor:

Saudi Binladin Group, Jeddah, Saudi Arabia

Subcontractor:

SL Sonderkonstruktionen und Leichtbau GmbH, 70771 Leinfelden-Oberaichen.

Photography provided by

SL Sonderkonstruktionen und Leichtbau, Germany.

الرئيسي الذي يوجه أحزمة الضوء من مصدرها إلى العاكس الثانوي المقسم بدوره إلى عدة أسطح عاكسة تركز الضوء في أماكنه المحددة بالساحة الخارجية. وتم توزيع هذه الأسطح بانتظام على مسطح الساحة لتعطي ضوءاً مبهراً منتشراً بكفاءة عالية وفي نفس الوقت يقلل من شدة الإحساس بالوهج الضوئي. لذلك أخذ في الاعتبار عين الإنسان كمقياس لمساحة وحجم السطح العاكس كذلك قدرته على تحمل مصدر الضوء.

وتتكون وحدة المصابيح العاكسة المثبتة بالمظلات من خمسين سطح عاكس داخلي. صنعت باستخدام ماكينات على درجة عالية من الدقة تقوم بتحويل الأسطح إلى رقائق ألومنيوم تكسى بخليط من ألياف الكربون المخلوطة بالإيبوكسي والمعالج حرارياً، وبالتالي يحصل على سطح نهائي لامع ومقوى. ولإبراز النواحي التشكيلية والقيم الجمالية بالواجهة يتم التركيز على نهايات المسجد من خلال زيادة الكثافة الضوئية بمصابيح مثبتة حول المسجد. يتم التحكم في اتجاه الإضاءة بها من خلال زوايا الأوجه العاكسة بداخلها والتي صنعت أيضاً من ألياف الكربون المكسوة بالألومنيوم.

ويوجد نظام إضاءة خاص بمدخل مواقف انتظار السيارات ببدروم المسجد حيث تسلط الإضاءة بمصباح ذو ١٢٨ وجه عاكس أساسها ثلاثة أنواع مختلفة من العواكس تكافئ أنواع الإضاءة الناتجة من المصباح الضوئي. وهذا النظام لا يرى أشاء ضوء النهار ويعمل عند الضرورة فقط. أما بالنسبة لمصابيح الإضاءة المعلقة على حوائط وأركان مواقف انتظار السيارات بالبدروم فهي مشابهة لتلك الموجودة بساحة المسجد النبوي مع إستبدال الأسطح العاكسة بسبعة صفوف من الأسطح المخروطية الشكل تعد كإسلوب لتكنولوجيا الإضاءة يساعد على توزيع الضوء بانتظام وتمنع الإضاءة المبهرة.

وفي النهاية فإن مشروع الملك فهد بن عبد العزيز لتوسعة المسجد النبوي الشريف يعد مثلاً متميزاً لاستخدام التقنيات المتقدمة وأساليب وتكنولوجيا البناء المتطورة لراحة مستخدمي المبنى خاصة إذا كان تعدادهم مئات الألوف وفي مكان يعد ثاني المقدسات الإسلامية.