

התנהגות מבנים רבי קומות באירוע מגה טרור

מהנדס ישראל דוד



תמונה של מגדל מס' 1 ממגדלי התאומים בעת בנייתו, הממחישה את הטכנולוגיה בה נבנה, המכונה "צינור בתוך צינור" – מעטפת חיצונית של עמודי פלדה וגרעין פלדה במרכז, כשביניהם מקשרים לוחות בטון מזויין טרומיים המונחים על גבי סבכת פלדה



הריסות מגדל מס' 1 ממגדלי התאומים לאחר הפגיעה. בתמונה ניתן להבחין כיצד הותכו ונמסו עמודי הפלדה שגרמו לקריסתו

אחר מההמלצות עוסק בהנחיות לפיתוח תקנים, מערכות וחומרים חדשים לחיזוק בניית מגדלים, הן בעמידותם בפני אש וחום, והן בפני פיצוצים מסוגים שונים.

כך, למשל, המלצה מס' 11 בדו"ח אומרת: "NIST ממליץ, כי ביצועים והתאמה של מבני פלדה מתקדמים, מבני בטון מזויין וטרומי, ומערכות חומרים אחרים בעלי ביצועים גבוהים, יוערכו לשימוש בהן על-פי מידת עמידותם בשריפות בבניינים".

כדי להבין מדוע קרסו "מגדלי התאומים" לאחר פגיעת מטוסי הנוסעים החטופים בהם צריך לחזור ולהבין איך הם נבנו, מה היה מנגנון הכשל שלהם לאחר הפגיעה בהם ומדוע התמוטטו בשרשרת.

תוצאות סימולציות על מודלים בארץ

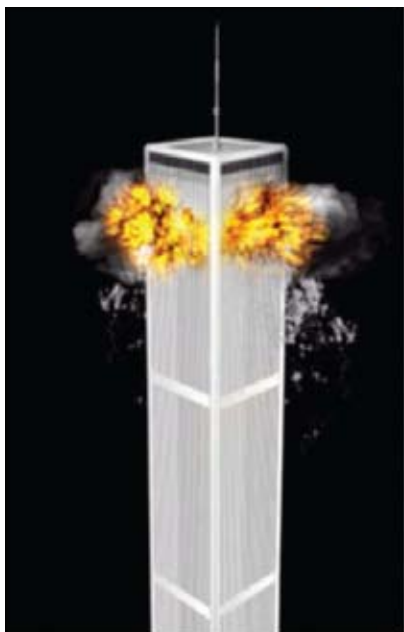
מיד לאחר קריסת "מגדלי התאומים" החלו להתפרסם תיאוריות שונות לגבי

קלפים, כפי שקרסו "מגדלי התאומים", או שהם יגלו יכולת עמידה שונה? האם אסון מסוג זה שאירע בניו-יורק ב-9/11 יכול לחזור על עצמו גם במגדלים הנבנים אצלנו?

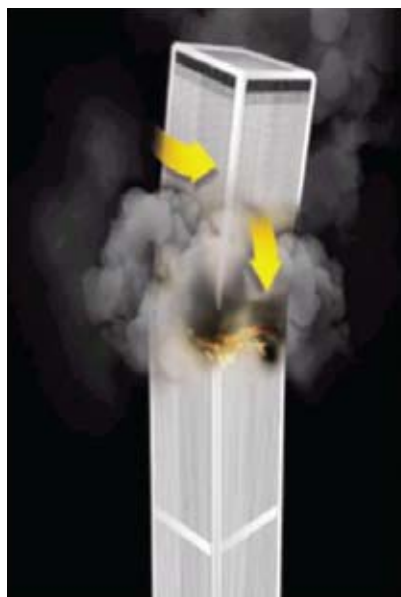
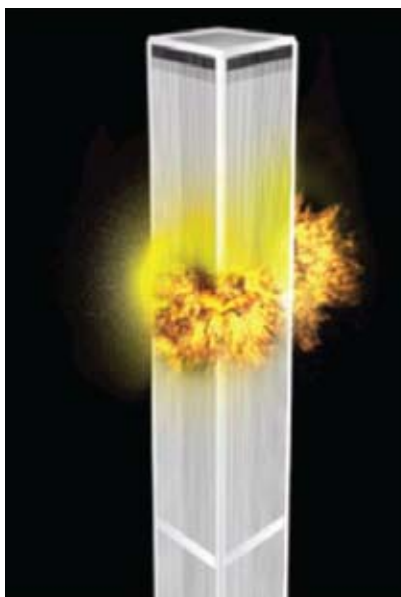
כדי להשיב על שאלה זו יש להתחבר תחילה להמלצות שפירסם מכון התקנים האמריקאי NIST (National Institute of Standards and Technology) לפני חמש שנים, לאחר שהתבקש על-ידי הממשלה הפדראלית להמליץ על קידום תקני בנייה ושיטות בנייה, שישפרו את עמידתם של מגדלים בפני פיגועי מכה טרור, פירסם המכון, בהסתמך על המחקרים שערך מאז קריסת המגדלים, דו"ח ובו 37 המלצות שכללו תקנים לאומיים ספציפיים, תקנות והנחיות לבנייה עמידה יותר של מגדלים בפני מכה פיגועים. חלק מהמלצות אלו אינו רלוונטי לענף הבנייה בישראל, כיוון שטכנולוגיית בניית המגדלים בארה"ב היא שונה מזו הנהוגה בישראל. חלק

בחדש ספטמבר השנה צויין ברחבי העולם, ובמיוחד בארצות הברית, מלאת 15 שנה לאירועי ה-11 בספטמבר 2001 הידועים גם בכינוי "9/11" - סדרה של אירועי התאבדות טרוריסטיים שבמהלכם פגעו שני מטוסי נוסעים שנחטפו ב"מגדלי התאומים" במרכז הסחר העולמי במנהטן וגרמו לקריסתם. תזכורת זו לאסון התאומים עוררה מחדש את החשיבה בארץ מה עלול לקרות היום בישראל כתוצאה מהאצת בניית המגדלים הגבוהים למגורים ולמשרדים, במקרה של אירוע טרור, שבו מטוס חטוף, מכונית תופת, או פצצה רבת עוצמה יפגעו באחד מהמגדלים הרבים שנבנו בהמדינה בשנים האחרונות.

במסגרת חשיבה מחודשת זו הוזמנת, כקונסטרוקטור, להרצות בפני קציני פיקוד העורף כדי לנסות להשיב על השאלה: איך יתנהגו המגדלים האלה במקרה של פיגוע מכה טרור? האם הם יקרסו קריסה טוטאלית בשרשרת כמגדל



אנטומיה של כשל מגדל מספר 1 ממגדלי התאומים



אנטומיה של כשל מגדל מספר 2 ממגדלי התאומים

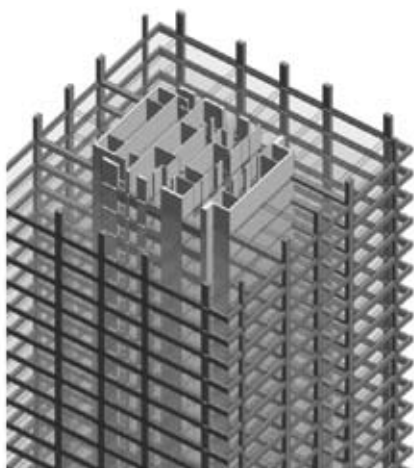
פלדה בין הקומות ה-107 וה-110 שכללו שש קורות פלדה לאורך הצד הארוך של הגרעין וארבע קורות לאורך הצד הקצר שלו. מערכת מסבכים זו איפשרה חלוקה אופטימלית של העומסים וביצועים משופרים של פלדה גמישה ובטון נוקשה, שאיפשרה למסגרות המומנט להעביר עומסים לגרעין.

הבנייה הגבוהה בישראל מתוכננת ונבנית בצורה שונה לגמרי ולכן היא גם צפויה להתנהג בצורה שונה לחלוטין במקרה של מגה פיגוע המכוון כלפיה. בכך נוכחנו על סמך מודלים שביצענו במחשב, שבהם בדקנו אירועים של מגה פיגועים במגדלים שנבנו על-פי השיטה המקובלת בארץ. באף אחד ממודלים

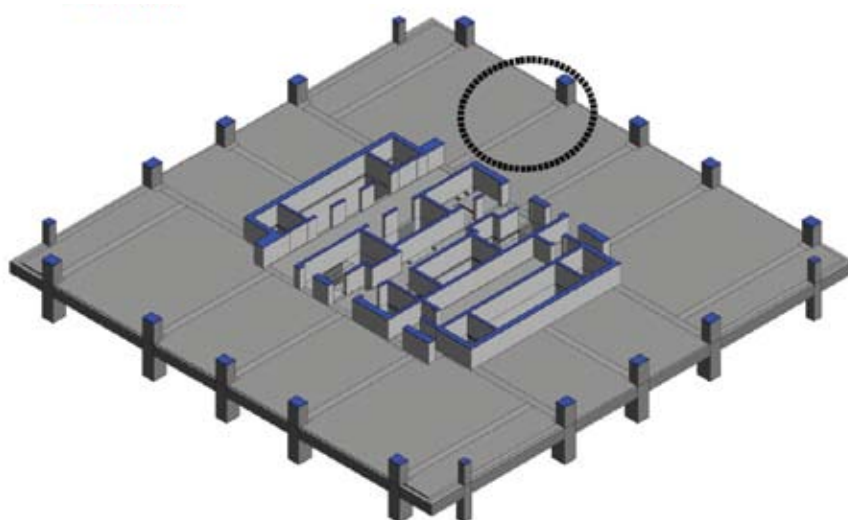
של עמודים היקפיים צפופים במעטפת החיצונית של המגדלים הם שהעניקו למגדלים, יחד עם ליבת הפלדה שלהם, את הכוח לשאת את עומסי המגדלים. מעל הקומה העשירית שלהם היו 59 עמודים היקפיים מסביב לכל חזיתות של מגדל ובגרעין היו עוד 47 עמודי פלדה כבדים. כל המעליות וחדרי המדרגות היו בתוך הגרעין, כך שהושאר מרחב פתוח גדול ללא עמודים בין העמודים ההיקפיים שגושר באמצעות קורות רצפה טרומיים. קורות אלה היו קורות בטון קל בעובי 10 ס"מ שהונחו על רצפת פלדה מחורצת. רשת של קורות גישור קלות וקורת מרכזיים תמכה ברצפות. כמו כן שולבו בשני המגדלים מסבכי

הסיבות שגרמו להתמוטטותם תוך שעתיים מרגע הפגיעה בכל אחד בהם. חלק מהמומחים טענו, כי המהירות בה טסו המטוסים לתוך הבניינים היא שגרמה לקריסתם. אחרים סברו כי כמות הדלק הגדולה שהייתה במטוסים והתלקחה עם הפגיעה במגדלים גרמה לחום כה גבוה, שהתיך את שלדי הפלדה שלהם. במרוצת השנים בוצעו עוד מחקרים מעמיקים רבים שהמסקנה הסופית של רובם הייתה שהטכנולוגיה וצורת הבנייה של המגדלים היא שהייתה גורם הכשל העיקרי.

בעיקרון תוכננו המגדלים כמבני "צינור בתוך צינור" שסיפקו חללים פתוחים גדולים ללא עמודים או קורות. מספר רב



תוצאת סימולציה ממוחשבת של מגה פיגוע במגדל שבניה בשיטה הישראלית עם גרעין בטון מזויין – הישרדות גבוהה של המגדל עם כשל קומתי בלבד בקומת הפגיעה



תוצאת סימולציה ממוחשבת של מגה פיגוע במרכז חזית מגדל ישראלי – יש פוטנציאל כשל כולל אזורי

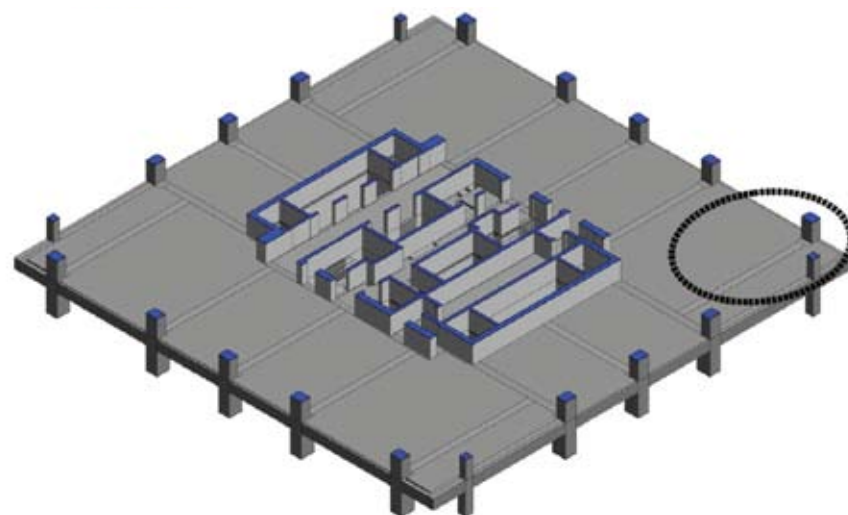
אלה לא התרחש כשל בעל אופי דומה של התמוטטות טוטאלית של המגדל. זאת משום שצורת הבנייה הגבוהה בישראל מאופיינת באמצעות שתי קטגוריות:

- מגדלי המגורים בארץ נבנים עם מעטפת חיצונית מבטון, אם בשיטת ברנוביץ' או בטון עם חיפוי אבן.
- סכימה שנייה היא של הסתמכות על גרעין מרכזי ועל עמודים חיצוניים תוך שימור הנוף על-ידי קיר מסך חיצוני ללא קיר בטון.

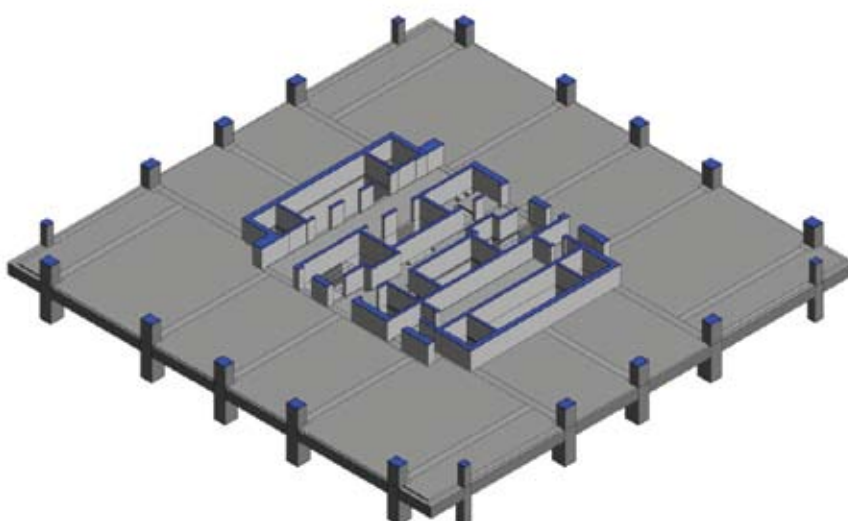
בסימולציות שביצענו ניתן היה לראות את התנהגות מגדלים אלה לאחר פגיעה באחד מעמודי המבנה בחלקו התחתון, ולצפות בהתנהגות השלד כולו כתוצאה מהסרת העמוד בקונפיגורציות שונות. כמו כן, ביצענו סימולציות של פגיעת טילים או מטוסים באחת מפנינות מבני המגדלים וגם בחזית המבנה.

על-פי המודלים הללו לא ראינו שהמבנה המרחבי של אותם מגדלים, שנבנו בשיטת הביצוע המקובלת בארץ, של שימוש בבטון מזויין עם חיבורים שמסוגלים ליצור סכימות סטטיות חלופיות, וייפגעו במגה פיגוע, יתמוטטו ובוודאי שלא תיגרם לו קריסה כוללת של כל המבנה, בדומה מה שקרה ל"מגדלי התאומים".

בסימולציות שביצענו על מודלים הסתבר, שמגה פיגוע במגדלים בארץ, במידה ויתרחש חלילה, יכול רק לגרום לפגיעה מקומית מוגבלת במבנה או לנזק חיצוני בקטע מסויים.



תוצאת סימולציה ממוחשבת של מגה פיגוע בפנינת מגדל ישראלי – יש פוטנציאל לכשל כולל אזורי בלבד



תוצאת סימולציה ממוחשבת של מגה פיגוע בחלקו התחתון של המגדל – הכשל הוא קומתי בלבד וקיימת הירדות גבוהה של המגדל